

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YILDIRIMDAN KORUMA:
ÇEŞİTLİ YÖNTEMLER, ÜSTÜNLÜKLERİ VE SAKINCALARI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Zafer FAYDALI

Anabilim Dalı: Elektrik Mühendisliği

Programı: Elektrik Mühendisliği

ŞUBAT 2009

**YILDIRIMDAN KORUMA:
ÇEŞİTLİ YÖNTEMLER, ÜSTÜNLÜKLERİ VE SAKINICALARI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Zafer FAYDALI

(504061025)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 29 Aralık 2008

Tezin Savunulduğu Tarih : 19 Ocak 2009

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Aydoğan ÖZDEMİR (İTÜ)
Diğer Jüri Üyeleri : Doç. Dr. Özcan KALENDERLİ (İTÜ)
Doç. Dr. Mukden UĞUR (İÜ)

ŞUBAT 2009

ÖNSÖZ

Bu çalışmayı gerçekleştirmemde değerli zaman ve bilgilerinden yararlandığım, hocam Prof. Dr. Aydoğan ÖZDEMİR'e teşekkürü bir borç bilirim.

Çalışmalarımı yürütmemde bana yardımcı olan Ar. Gör. Suat İLHAN başta olmak üzere tüm İ.T.Ü. Fuat Külünk Yüksek Gerilim Laboratuvarı çalışanlarına, yüksek lisans hayatım boyunca verdiği maddi destekten dolayı TÜBİTAK'a ve son olarak da aileme teşekkür ederim.

OCAK 2009

Zafer FAYDALI
Elektrik Müh.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	xiii
SUMMARY	xv
1. GİRİŞ	1
2. YILDIRIM BOŞALMALARI VE ETKİLERİ	5
2.1. Yıldırımın Sınıflandırılması	5
2.2. Yıldırımın Oluşumu	6
2.2.1. Bulut-yer arası boşalmalar (Yıldırımlar).....	7
2.2.1.1. Negatif kutbiyetli yıldırım boşalmaları.....	7
2.2.1.2. Pozitif kutbiyetli yıldırım boşalmaları	9
2.2.1.3. Yerden buluta doğru boşalmalar	9
2.2.2. Bulut boşalmaları	9
2.3. Yıldırımın Etkileri.....	9
2.3.1. Elektrodinamik etkisi.....	9
2.3.2. Basınç ve ses etkisi.....	10
2.3.3. Elektrokimyasal etkisi	10
2.3.4. Işık etkisi.....	10
2.3.5. Isıl etkisi.....	10
3. YILDIRIMDAN KORUMA.....	13
3.1. Yıldırımdan Koruma	13
3.2. Yıldırımdan Koruma Sistemleri.....	15
3.2.1. Faraday kafesi	16
3.2.2. Franklin çubukları (Yıldırımlık).....	17
3.2.3. Aktif yıldırımlıklar.....	18
3.2.4. Yıldırımı engelleyen düzenler.....	21
4. DENEYLER	23
4.1. Deney Devresi.....	23
4.1.1. Deney devresi elemanları.....	23
4.1.2. Deney numuneleri	24
4.2. Deneylerin Yapılışı	24
4.2.1. %50 Atlama gerilimi deneyleri.....	24
4.2.2. Aynı elektrogeometrik koşullarda yakalama oranı deneyleri.....	28
4.2.3. Korona boşalma akımı deneyleri.....	30
4.3. Doğru Gerilim Kutuplamalı Deneyler.....	36
4.3.1. Deney devresi..	36
4.3.2. Doğru gerilim kutuplamalı durumda aynı elektrogeometrik koşullarda yakalama oranı deneyleri.....	37
4.3.3. Doğru gerilim kutuplamalı durumda korona boşalma akımı deneyleri.....	38

5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	39
KAYNAKLAR.....	43
EKLER.....	45

KISALTMALAR

CTS : Charge Transfer Systems
ESE : Early Streamer Emission
EAU : Erken Akış Uyarılı
YED : Yıldırım Engelleyici Düzenekler
FYU : Franklin Yakalama Ucu

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1	: Bulut-yer arası yıldırım boşalmalarının sınıflandırılması.	6
Çizelge 2.2	: Yıldırım akımı büyüklüğünün istatistiksel dağılımı.....	8
Çizelge 4.1	: 300/2500 μ s'lik açma-kapama darbe deney gerilimleri için %50 atlama gerilimleri.....	25
Çizelge 4.2	: Aynı elektroteometrik koşullarda, 300/2500 μ s'lik açma-kapama darbe deney gerilimleri için yakalama oranları	29
Çizelge 4.3	: 2 metre elektrot açıklığı için korona boşalma akımları [mA]	32
Çizelge 4.4	: 3 metre elektrot açıklığı için korona boşalma akımları [mA]	33
Çizelge 4.5	: 4 metre elektrot açıklığı için korona boşalma akımları.....	34
Çizelge 4.6	: Aynı elektroteometrik koşullarda, 300/2500 μ s'lik açma-kapama darbe deney gerilimleri için yakalama oranları.....	38
Çizelge A.1	: Yıldırımlık için 2m elektrot açıklığında %50 atlama gerilimi deney sonuçları.	46
Çizelge A.2	: EvoDis®-55 için 2m elektrot açıklığında %50 atlama gerilimi deney sonuçları	47
Çizelge A.3	: EvoDis®-10 için 2m elektrot açıklığında %50 atlama gerilimi deney sonuçları	48
Çizelge A.4	: Yıldırımlık için 3m elektrot açıklığında %50 atlama gerilimi deney sonuçları	49
Çizelge A.5	: EvoDis®-55 için 3m elektrot açıklığında %50 atlama gerilimi deney sonuçları	50
Çizelge A.6	: EvoDis®-10 için 3m elektrot açıklığında %50 atlama gerilimi deney sonuçları	51
Çizelge A.7	: Yıldırımlık için 3,5m elektrot açıklığında %50 atlama gerilimi deney sonuçları	52
Çizelge A.8	: EvoDis®-55 için 3,5m elektrot açıklığında %50 atlama gerilimi deney sonuçları	53
Çizelge A.9	: EvoDis®-10 için 3,5m elektrot açıklığında %50 atlama gerilimi deney sonuçları	54
Çizelge A.10	: Yıldırımlık için 4m elektrot açıklığında %50 atlama gerilimi deney sonuçları	55
Çizelge A.11	: EvoDis®-55 için 4m elektrot açıklığında %50 atlama gerilimi deney sonuçları	56
Çizelge A.12	: EvoDis®-10 için 4m elektrot açıklığında %50 atlama gerilimi deney sonuçları	57
Çizelge B.1	: Yıldırımlık için 2m elektrot açıklığında korona boşalma akımları deney sonuçları	58
Çizelge B.2	: EvoDis®-55 için 2m elektrot açıklığında korona boşalma akımları deney sonuçları	59
Çizelge B.3	: EvoDis®-10 için 2m elektrot açıklığında korona boşalma akımları deney sonuçları	59
Çizelge B.4	: Yıldırımlık için 3m elektrot açıklığında korona boşalma akımları	

	deney sonuçları.....	60
Çizelge B.5	: EvoDis®-55 için 3m elektrot açıklığında korona boşalma akımları deney sonuçları.....	61
Çizelge B.6	: EvoDis®-10 için 3m elektrot açıklığında korona boşalma akımları deney sonuçları.....	62
Çizelge B.7	: Yıldırımlık için 4m elektrot açıklığında korona boşalma akımları deney sonuçları.....	63
Çizelge B.8	: EvoDis®-55 için 4m elektrot açıklığında korona boşalma akımları deney sonuçları.....	64
Çizelge B.9	: EvoDis®-10 için 4m elektrot açıklığında korona boşalma akımları deney sonuçları.....	65

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Yıldırımın oluşumunun aşamaları	8
Şekil 3.1 : Faraday kafesi	17
Şekil 3.2 : Franklin çubuğu esaslı yıldırımdan koruma sistemi	18
Şekil 3.3 : Yıldırımı engelleyen düzen	22
Şekil 4.1 : %50 atlama gerilimi ve aynı elektrojeometrik koşullarda yakalama oranı deneylerinde kullanılan deney devresi	24
Şekil 4.2 : a) Yıldırımlık; b) EvoDis®-55; c) EvoDis®-10	25
Şekil 4.3 : %50 atlama gerilimi deneyleri deney montajı.....	26
Şekil 4.4 : Franklin çubuğu için örnek %50 deney gerilimi şekli	26
Şekil 4.5 : Franklin çubuğuna uygulanan açma-kapama darbe deney geriliminde atlama örneği.....	27
Şekil 4.6 : YED 1'e uygulanan açma-kapama darbe deney geriliminde atlama örneği	27
Şekil 4.7 : YED 2'ye uygulanan açma-kapama darbe deney geriliminde atlama örneği.....	28
Şekil 4.8 : Deney numunelerinin levha elektrot altına yerleşimi.....	28
Şekil 4.9 : Aynı elektrojeometrik koşullarda yakalama oranı deneyleri.....	30
Şekil 4.10 : 300/2500 µs'lik negatif kutbiyette darbe deney gerilimi	30
Şekil 4.11 : Korona boşalma akımı deneylerinde kullanılan deney devresi.....	31
Şekil 4.12 : 2 metre elektrot açıklığı için pozitif açma-kapama darbe deney gerilimlerinde korona boşalma akımlarının tepe değerleri	32
Şekil 4.13 : 2 metre elektrot açıklığı için negatif açma-kapama darbe deney gerilimlerinde korona boşalma akımlarının tepe değerleri	33
Şekil 4.14 : 3 metre elektrot açıklığı için pozitif açma-kapama darbe deney gerilimlerinde korona boşalma akımlarının tepe değerleri	33
Şekil 4.15 : 3 metre elektrot açıklığı için negatif açma-kapama darbe deney gerilimlerinde korona boşalma akımlarının tepe değerleri	34
Şekil 4.16 : 4 metre elektrot açıklığı için pozitif açma-kapama darbe deney gerilimlerinde korona boşalma akımlarının tepe değerleri	34
Şekil 4.17 : 4 metre elektrot açıklığı için negatif açma-kapama darbe deney gerilimlerinde korona boşalma akımlarının tepe değerleri	35
Şekil 4.18 : Franklin çubuğu için darbe deney gerilimi ve korona boşalma akımı örneği (Elektrot açıklığı = 3m., U = -800 kV, I = 12,59 mA).....	35
Şekil 4.19 : YED 1 için darbe deney gerilimi ve korona boşalma akımı örneği (Elektrot açıklığı = 3m., U = -800 kV, I = 27,20mA).....	35
Şekil 4.20 : YED 2 için darbe deney gerilimi ve korona boşalma akımı örneği (Elektrot açıklığı = 3m., U = -800 kV, I = 27,20 mA).....	36
Şekil 4.21 : Doğru gerilim kutuplamalı deneylerde kullanılan deney devresi	36

YILDIRIMDAN KORUMA:

ÇEŞİTLİ YÖNTEMLER, ÜSTÜNLÜKLERİ VE SAKINCALARI

ÖZET

İnsanları, binaları, tesisleri ve donanımları yıldırımın etkilerine karşı korumak amacıyla, yıldırım boşalmalarının kontrolü ve yönlendirilmesi elektrik mühendislerinin yıllardır devam eden bir uğraşı alanı olup; konuyla ilgili araştırmalar, yıldırım boşalmasının kesin olarak tanımlanamayan bazı belirsiz yanları nedeniyle hala devam etmektedir. Yıldırımdan korumada amaç, yıldırımın doğrudan ve/veya dolaylı etkilerini ortadan kaldırmak veya en aza indirmektir. Eski tarihlerde yıldırımın verdiği zarar can güvenliği ve yangın ile sınırlıyken; gelişen teknoloji ve yaşam standartları koruma olgusu ve kapsamını çok daha ileri noktalara getirmiştir.

Günümüzde yaygın olarak kullanıla üç farklı yıldırımdan koruma sistemi vardır.

1. Bulut yükünü, yerle etkileşim öncesinde boşaltan düzenekler;
2. Yıldırımı yakalayan ve bulut yükünü toprağa boşaltan yakalama uçlu düzenekler;
3. Yıldırım boşalmasını engelleyen düzenekler.

Birinci grup koruma çok ender ve özel durumlarda tercih edilir. İkinci grup, Franklin çubukları olarak da adlandırılan yakalama uçlarıyla yıldırımı yakalayan ve bir iletken yol (iniş iletkenleri) ve yüksek iletkenlikli bir topraklama sistemi üzerinden toprağa akıtan düzeneklerdir. Amaç, bir bölgeye düşebilecek yıldırımları üzerine çekmek ve bulut yükünü toprağa akıtmaktır. Faraday Kafesi ile desteklenmiş yakalama uçları daha etkin bir koruma sağlarlar. Franklin yakalama uçlarının yakalama performanslarını yükseltmek amacıyla, ön iyonizasyon oluşturan elektrotlara sahip, aktif yıldırımlık olarak da adlandırılan yakalama uçları geliştirilmiştir. Bu yakalama uçlarının, uçlarında oluşturulan ön boşalma ile boylarının izafi olarak uzadığı ve bu halleri ile daha yükseğe yerleştirilmiş Franklin çubukları gibi davranacakları ve dolayısıyla daha büyük bir alanı koruyacakları iddia edilmektedir.

Yıldırımı yakalayan ve toprağa ileten düzeneklerin en önemli sakıncaları, yüksek akımları toprağa iletirken iletkenlerde meydana gelen aşırı elektriksel, mekanik ve ısıl zorlanmalar ve bu iletkenler çevresinde oluşan yüksek manyetik alanların olumsuz etkileridir. Bu sakıncayı gidermek için, çok sayıda sivri uçlu elektrot kullanarak, bu elektrotların oluşturacağı ön iyonizasyon vasıtasıyla koruma bölgesine yıldırım düşmesini engelleyen düzenekler geliştirilmiştir. Çok noktalı boşalma düzenekleri olarak adlandırılan bu koruma sistemleri, daha çok yüksek kuleler, petrokimya tesisleri, patlayıcı ve yanıcı madde içeren hacimler için kullanılmaktadır.

Bu çalışmada, aynı elektrojeometrik koşullardaki Franklin yakalama ubuklu koruma sistemlerine kıyasla daha iyi koruma sağladığı iddia edilen yıldırım engelleyici düzeneklerin üstünlükleri ve eksiklikleri incelenmiştir. Bu amaçla, boşalma fiziğinin temel ilkeleri referans alınarak, çeşitli deney düzenekleri oluşturulmuş, farklı koruma düzeneklerinin performans analizleri yapılmıştır.

PROTECTION AGAINST LIGHTNING: LIGHTNING PROTECTION SYSTEMS, THEIR ADVANTAGES AND DISADVANTAGES

SUMMARY

Controlling and diverting of lightning discharges for the protection of human beings, buildings, systems and equipments against the effects of lightning strikes has been one of the important subject of electrical engineers for more than 250 years. It's importance is still the same since there are several uncertainties regarding the discharge mechanism of the lightning phenomena. The aim of lightning protection is to eliminate or minimize the direct and indirect effects of lightning strikes. The importance of lightning phenomena in the past was mainly concentrated on its effects on human beings and on the resulting fires. However, technological developments and daily life standards have brought new concepts and have resulted in improved protection schemes.

Lightning protection systems can be categorized into three major groups.

1. Systems discharging cloud charges before cloud-ground discharge.
2. Systems capturing and discharging the lightning to ground.
3. Lightning prevention system (Charge transfer systems-CTS).

The first protection group is rarely applied and is preferred for some special cases. Lightning capturing rods (also known as Franklin rods) captures the lightning and directs it to the ground through the conductors and grounding system. The aim is to protect a specified region from lightning strikes by capturing and diverting it to the ground. Their performance is improved by using them together with Faraday Cage structures. Early Streamer Emission (ESE) devices are later developed to increase the capturing performance of ordinary Franklin rods. ESE terminals are claimed to increase the effective height of the rod and therefore to enhance the protected zone when compared with of the Franklin rods of identical electrogeometrical conditions.

The basic disadvantage of both the Franklin rods and the ESE terminals is the thermal, mechanical and electrical stresses as well as high magnetic fields created by the high lightning currents transferred to the ground. Therefore, charge transfer systems where multi-point discharges (pre ionization) are created by means of sharp electrodes to prevent a specified region from direct lightning strikes. It is generally utilized in high towers, petrochemical plants, buildings including explosive material.

This study aims to investigate the performance of CTS. Their advantages and disadvantages against ordinary Franklin rod based protection systems will be experimentally analyzed by the use of several test setups.

1. GİRİŞ

Yıldırım doğanın bize sunduğu en heyecan verici ve ilginç olaylardan biridir. Dünya üzerinde değişik coğrafi konumlarda, değişik sıklıklarda ve genliklerde dakikada ortalama 1800 adet yıldırım oluşmaktadır. Örneğin, kuzey ve güney kutuplarında yıldırıma rastlanmazken, ekvator bölgesinde yılın birçok günü yıldırım oluşmaktadır [1].

M.Ö. çağlarda, yıldırımın tanrı gücünün ve kutsallığının bir simgesi olduğuna inanılmaktaydı. Eski Yunan uygarlığında, şimşegın Zeus'un silahı olduğú görüşü; Eski Roma uygarlığında ise şimşegın, ateş ve madencilik tanrısı Vulkan tarafından Jüpiter'e verilen bir silah olduğú görüşü hakimdi. Eski İskandinav uygarlıklarında ise Tor adlı yıldırım tanrısı bulunuyordu.

Daha yakın çağlarda Aristo yıldırım olayını ay ve dünya arasındaki hava ve ateş dengelerinin değişmesinden yola çıkarak açıklamaya çalışmış; Herodotus ise yıldırımın uzun yapılara düştüğünü gözlemlemiştir. Bundan yüzyıllar sonra Leonardo da Vinci, yıldırımın çarpışan bulutların sonucu oluştuğú varsayımını ortaya atmıştır.

Yıldırım ve elektrik arasındaki bağ, yakın geçmişe kadar hala bilinmeyen bir olaydı. 1707 yılında, İngiliz bilim adamı William Wall, elektrik boşalmalarının kıvılcım ve ses yapısı olarak yıldırım ve şimşege benzediğini ortaya atan ilk kişi olmuştur. 1745 yılında Pieter van Muschenbrook elektrik kıvılcımlarının yıldırım boşalmalarıyla benzer olduğunu saptamıştır. Benjamin Franklin, 1747 yılında sivri uçlu cisimlerin yıldırımı yakalama özelliğini keşfetmiştir. Yıldırım hakkında görüş belirten bir diğer bilim adamı Newton ise, elektrik kıvılcımlarını küçük ölçekte yıldırımlara benzetmiştir.

1749 yılının Kasım ayında Franklin, yaptığı gözlem ve deneylerini özetleyen bir çalışma sunmuştur. Buna göre elektrik boşalmalarının ışık üretmesi, üretilen ışığın rengi, doğrusal olmayan boşalma kanalı oluşturması, hızlı hareket edebilmesi, metaller tarafından iletilebilmesi, sesi, içinden geçtiği cisme zarar vermesi ve bazı cisimleri yakabilmesi bakımından yıldırıma benzediğini belirtmiştir. Sonuç olarak yıldırım ve elektrik boşalmaları arasında bir bağ olması gerektiğini savunmuştur. Bu

açıklamalarından iki hafta kadar sonra Franklin yakalama çubuğunu tanıtmıştır. Bu çubuk yaklaşık olarak 2,5 - 3 m arasında demir bir çubuktur. Çubuğun amacı evleri yıldırıma karşı korumaktır. Bu aşamada Franklin yıldırım yükünün toprağa iletilmesini sağlayan topraklama iletkenlerini kullanmayı gereksiz görmüştür.

1752 yılında, D'Allibart, DeLorre ve Beaufont adlarında üç Fransız, Franklin'in deney ve gözlemlerinden yola çıkarak bir yıldırımlık yapmışlardır. Bu yıldırımlık üçgen şeklinde yerleştirilmiş tahta kazık, bunların üstlerine kurulmuş yakalama çubuğu ve topraklama iletkeninden oluşmaktaydı. 10 Mayıs 1752 tarihinde yıldırımlığın konulduğu yere büyük çapta bir yıldırım düşmüş, yıldırımlığı gözlemek için orada bulunan bir kişi, üzerinde elektrik yanıkları oluşmuş ve yıldırımlığın yanında ölüsü bulunmuştur [1].

Fransızlardan habersiz olarak deneylerine devam eden Franklin, 1753 yılında tasarladığı yıldırımdan koruma sistemini açıklamıştır. Sistemin etkinliği, 1760 yılında koruma düzeninin yerleştirildiği eve yıldırım düşmesi ile gözlemlenebilmiştir. Eve düşen yıldırım eve zarar vermeden yakalama ucunu yakmıştır. İlerleyen yıllarda birçok bilim adamı yıldırım olayı hakkında araştırmalar yapmışsa da, bu araştırmalar yıldırım olayının fiziksel boyutu dışına çıkamamıştır [2].

20. yüzyılın başlarında artan elektrik enerjisi kullanımı sonucu sayıları artan enerji iletim hatları, yıldırımın bu hatlara sıkça zarar vermesine zemin oluşturmuştur. Diğer yandan, yine bu süreçte hızla gelişen teknoloji ve yaşam standartları, yıldırım ile ilgili araştırmalara farklı bir boyut kazandırmıştır. Artık araştırmacılar, yıldırımın fiziksel boyutlarıyla olduğu kadar, yıldırımın enerji iletim hatları ve yapılar üstüne düşmesi ve yıldırımdan koruma konularıyla da ilgilenmeye başlamışlardır.

Günümüzde yaygın olarak kullanılan yıldırıma karşı koruma sistemlerinin (yıldırımlıklar, aktif yıldırımlıklar ve yıldırımı engelleyen düzenler) performansları, boşalma fiziği ve gerçekleştirilen deneysel çalışmalarla ortaya konmaya çalışılmıştır. Fakat bu çalışmaların bir kısmında ticari kaygılar ağırlıklı olmuştur. Elde edilen veriler daha çok belirli özel durumlar için geçerli olup, genelleme yapma konusunda yetersiz kalmışlardır. Deneysel çalışmaların bir diğer eksikliği de, laboratuvar olanaklarının kısıtlılığı nedeniyle yapılan deneylerin ve deney parametrelerinin sınırlı kalmasıdır.

Bu çalışmada amaç yıldırımdan korunmak için yaygın olarak kullanılan Franklin ubukları ve son yıllarda gündeme gelen Yıldırım Engelleyici Düzeneklerin (YED) performanslarını kıyaslamalı olarak deneysel yollarla ortaya koymaktır. Bu amaçla açma-kapama darbe gerilimleri için sözü geçen koruma sistemlerinin boşalma başlangıç gerilimleri ve korona boşalma akımları deneysel olarak ölçülmüş ve aynı elektrojeometrik koşullarda yakalama performansları incelenmiştir.

Tezin ikinci bölümünde yıldırım boşalmalarının sınıflandırılması, oluşumu ve etkileri üzerinde durulmuş; üçüncü blmde yıldırımdan koruma konusu ele alınıp geçmişten günümüze yıldırımdan koruma sistemleri hakkında bilgi verilmiştir. Dördüncü blmde yapılan deney ve gözlem sonuçlarına dayanarak, Franklin yakalama ubuklu koruma sistemlerine kıyasla daha iyi koruma sağladığı iddia edilen Yıldırım Engelleyici Düzeneklerin stnlkleri ve eksiklikleri irdelenmiştir. Beşinci ve son blmde ise yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlar belirtilmiş ve ileriye yönelik öneriler sunulmuştur.

2. YILDIRIM BOŞALMALARI VE ETKİLERİ

Yıldırım, ortamdaki elektrostatik dengeyi sağlayan ve yüksek gerilim içeren ani sayılabilecek bir elektriksel boşalmadır. Yıldırımı, büyük ölçekte birikmiş statik elektrik yükünün dengelenmesi gibi ele alabiliriz. Yıldırım da tıpkı statik elektrik gibi, zıt yüklü cisimlerdeki yüklerin denge konumuna geçme isteğinden kaynaklanan bir etkileşimden meydana gelir.

Klasik kapı kolu-insan-halı örneğinde, kapı kolundaki protonlar tarafından çekilen elektronlar önce halıdan insana, sonra da insandan kapı koluna atarlar. Elektronların bu hareketi aslında küçük bir elektrik akımı oluşturur ve insan üzerinde statik elektrik olarak adlandırdığımız hafif bir elektriksel şok yaratır. Statik elektriğe benzer olarak bulut içindeki hava akımları zıt yüklerin ayrılmasını sağlayarak yıldırım olayı için elverişli bir ortam oluşmasına zemin hazırlar.

Yıldırım boşalması, büyük elektrot açıklıklarındaki kanal boşalması şeklinde meydana gelir. Yıldırım boşalmasının oluşabilmesi için bulut etrafındaki elektrik alan şiddetinin yaklaşık 25 kV/cm değerine ulaşması gerekir.

Bir bulutta alan şiddeti yeteri kadar yükseldiği zaman, bulut-bulut boşalması, bulut içi boşalma ve ya bulut-yeryüzü boşalması (yıldırım) oluşur. Eğer yüksek kuleler veya benzeri sivri noktalarda elektrik alanı belirli bir değere erişmişse yukarıya doğru çıkan yıldırım oluşabilir.

Yıldırımın kutbiyeti, dalga şekli ve yıldırım akımının tepe değeri, yıldırımın karakteristik büyüklükleridir. Yıldırım boşalmalarının kutbiyeti negatif veya pozitif olabilir. Negatif kutbiyetli yıldırım boşalmalarının sayısı toplam boşalmaların %70 ile %90 arasındadır [3-5].

2.1. Yıldırımın Sınıflandırılması

Atmosferik boşalmalar dört sınıfta incelenir:

- 1) Bulut-yer arası boşalmalar (yıldırımlar),

- 2) Bulutlararası boşalmalar,
- 3) Bulut-hava boşalmaları,
- 4) Bulut içi boşalmalar.

Atmosferik boşalmaların %50'si bulut içi boşalmalardır. Bulut-yer arası boşalmalar (yıldırımlar) da bulut içi boşalmalar sıklığında görülür. Bulutlararası ve bulut-hava boşalmaların olasılığı, diğer boşalmalara kıyasla çok düşüktür. Yıldırım boşalmaları oluşumu, canlılara ve yapılara etkileri nedeniyle en çok inceleme ve araştırma yapılan boşalma türüdür [6].

Yıldırım boşalmaları kendi aralarında dört sınıfta incelenir (Çizelge 2.1). Yıldırım boşalmalarının yaklaşık % 90'ı negatif kutbiyetli ve buluttan yere doğru ilerleyen boşalmalar, % 10'luk bir bölümü ise buluttan yere ilerleyen pozitif kutbiyetli boşalmalar ve çok küçük bir yüzde de yerden buluta doğru ilerleyen pozitif veya negatif kutbiyetli boşalmalardır [6].

Çizelge 2.1 : Bulut-yer arası yıldırım boşalmalarının sınıflandırılması.

Sınıf	Başladığı Konum	Kutbiyet
1	Bulut	Negatif
2	Bulut	Pozitif
3	Yer	Negatif
4	Yer	Pozitif

2.2 Yıldırımın Oluşumu

Farklı coğrafi bölgelerde yapılan çok sayıda gözlemlerden sonra, buluttaki yük oluşumu, buluttaki buz kristallerinin grezil adı verilen madde ile aşırı soğutulmuş su damlacıkları arasındaki etkileşimle açıklanmıştır.

Grezil maddesinin oluşabilmesi için bulut içinde su moleküllerinin gaz, sıvı ve katı halde beraber bulunması gerekir. Bu madde aşırı soğutulmuş su damlacıklarının buz kristalleriyle birleşerek donmasıyla oluşur.

Grezil, soğutulmuş su damlacıklarının olduğu bölgeye düşer ve damlacıklara çarpar, böylece su grezilin etrafında donar. Bu arada buz kristalleri ve grezil tarafından etkilenmeden kalan su damlaları da mevcut bulunurlar. Grezile çarpan soğuk buz

kristallerinde bulunan elektronlar grezile doğru hareket ederler. Böylelikle, küçük buz kristalleri pozitif olarak, daha büyük olan grezilde negatif olarak yüklenir. Hava, bulut içerisinde dinamik bir şekilde aşağı yukarı hareket ederken küçük buz kristallerini yükseklerle taşır, büyük grezil aşağı seviyelerde kalmaya eğilimlidir. Bulut bu şekilde yüksek seviyelerde daha çok pozitif, alt seviyelerde ise negatif elektrikle yüklenir.

2.2.1 Bulut yer arası boşalmalar (Yıldırım)

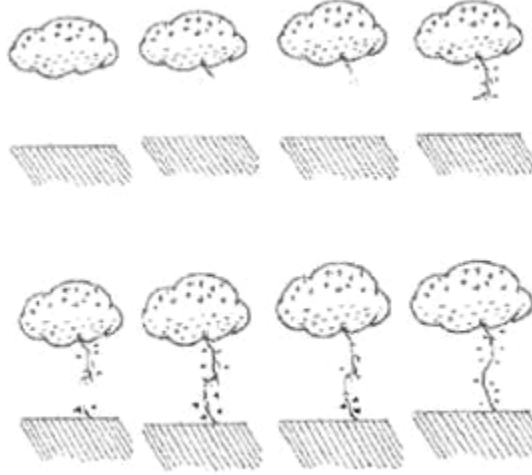
2.2.1.1 Negatif kutbiyetli yıldırım boşalmaları

Yıldırım bulutlarını, havada asılı, yüklü çok büyük kondansatörler olarak düşünebiliriz. Bu bulutlarda, negatif yüklerin genellikle bulutun alt tarafında yoğunlaşacak şekilde kümелendiği daha önce de belirtilmişti. Bunun sonucu olarak, topraktaki negatif yükler, yüzeyde net bir pozitif yüklü bölge oluşturacak şekilde aşağıya doğru itilirler. Karşılıklı biriken bu yükler nedeniyle bulut ve toprak arasında kuvvetli bir elektrik alanı oluşur. Oluşan bu yüksek elektrik alanı, bulut çevresindeki havanın iyonize olmasına neden olur. Havadaki iyonizasyonun derecesine bağlı olarak yere doğru ilerleyen bir öncü boşalma (*leader*) başlayabilir. Bu boşalmalar birbirini zaman aralıklarıyla izleyen boşalmalar şeklinde adım adım gerçekleşir. Negatif kutbiyetli öncü boşalmaların bazı karakteristikleri:

1. Öncü boşalmaların adım uzunluğu 10 m mertebesindedir.
2. Bir öncü boşalma 10 C ve üzeri negatif yükü boşaltabilir.
3. Boşalmanın toprak doğrultusundaki iniş hızı $2 \times 10^5 \text{ ms}^{-1}$ mertebesindedir.
4. Öncü boşalmanın darbe akımı tepe değeri kiloamper mertebelerindedir.
5. Öncü boşalma başlangıç ve bitiş evrelerinde dallanma yapar.
6. Öncü boşalma ve toprak arasında en az 10^7 V luk potansiyel farkı vardır.

Boşalmanın yere doğru olmasının nedeni, negatif yüklerin pozitif yüklerden daha hafif olması ve buna bağlı olarak daha hızlı hareket edebiliyor olmasıdır. Havanın iyi bir yalıtkan olduğu düşünülürse, böylesine bir boşalmanın gerçekleşebilmesi için ortamda aşırı derecede bir yükün birikmiş olması gerekmektedir. Öncü boşalma sırasında yükler yer yüzeyine yaklaştıkça, yüzeyde bulunan sivri uçlu cisimler etrafındaki elektrik alan şiddeti de yükselmeye başlar. Bu durumda sivri uçlu cisimlerden de yukarıya doğru pozitif kutbiyetli bir elektriksel boşalma başlar. Bu iki

boşalma sonucu oluşacak kanalların birleşmesiyle bulut ve toprak arasında iletken bir kanal açılmış olur. Oluşan bu kanal sayesinde topraktaki pozitif yükler buluta akarlar. Buna ana boşalma (*return stroke*) denir. Bu şekilde bulut ve yer arasındaki yüklerin dengelenmesine kadar meydana gelen boşalmalar yıldırım olayını oluşturmaktadır (Şekil 2.1). Yıldırım sırasında boşalan yük 2 C ile 200 C arasında, yıldırım akım genliği 2 kA – 200 kA arasında değişir. Çizelge 2.2’de yıldırım akımı genliğinin birikimli olasılıkları verilmiştir.



Şekil 2.1: Yıldırım oluşumu aşamaları.

Çizelge 2.2 : Yıldırım akımı genliğinin istatistiksel dağılımı.

%	99	88	80	50	30	20	10	5	1
kA	3	10	20	25	50	80	100	130	200

Pozitif kutbiyetli ana boşalmaların bazı karakteristikleri:

1. Ana boşalmanın hızı yerden çıkışta ışık hızının üçte biri kadar olup, buluta ilerledikçe azalır.
2. Yerden buluta ulaşma süresi yaklaşık olarak 100 μ s’dir.
3. Akımın tepe değerine ulaşması için birkaç mikro saniye yeterli bir süredir.
4. Yerdeki akımın yarı değere inme süresi 50 μ s’dir.
5. Öncü boşalma sırasında oluşan kanal, ana boşalma sırasında 30000° K sıcaklığa ulaşır [6].

2.2.1.2 Pozitif kutbiyetli yıldırım boşalmaları

Pozitif kutbiyetli yıldırım boşalmaları, yıldırım bulutunun pozitif yüklerle dolu olan üst kısmında başlar. Genelde kış mevsiminde meydana gelen yıldırımlarda, yüksek ve dağlık yerlerde görülen pozitif kutbiyetli boşalmalar, negatif boşalmalar gibi adım adım ilerlemek yerine sürekli ilerleyen bir şekilde gerçekleşir. Bu tür yıldırım boşalmalarında 200 – 300 kA mertebesinde tek bir yıldırım darbe akımı oluşur [6].

2.2.1.3 Yerden buluta doğru boşalmalar

İnsan yapımı yüksek binalardan veya yüksek tepelerden buluta doğru negatif veya pozitif kutbiyetli boşalmalar başlayabilir. Tıpkı buluttan yere boşalmalar gibi, negatif kutbiyetli boşalmalar adım adım ilerleyen boşalmalar, pozitif kutbiyetli olanlar ise sürekli boşalmalar halindedir. Yerden buluta doğru pozitif kutbiyetli boşalmalarda öncü boşalma 100 A ile 1000 A arasında değişen bir akım taşır [6].

2.2.2 Bulut boşalmaları

Bulut yer boşalması dışındaki diğer bulutlararası boşalmalar, bulut-hava boşalmaları ve bulut içi boşalmaları, bulut boşalmaları olarak genel isimle anılır. Elektriksel olarak bu boşalma türleri arasında benzerlikler bulunmaktadır.

Bulut içi boşalmalar yıldırım bulutu içinde ayrı bulunan negatif yüklü ve pozitif yüklü bölgelerin birbiriyle etkileşiminden meydana gelir. Farklı bulutların pozitif ve negatif yüklü kısımları arasındaki elektrik alan şiddetine bağlı olarak ise bulutlar arası boşalmalar gerçekleşir. Bulut hava boşalmaları ise, öncü boşalmaların kanal oluşturamayarak havada sönmesi sonucu oluşur [5].

2.3 Yıldırımın Etkileri

Yıldırım darbesini (veya negatif yıldırım olması halinde darbeleri) karakterize etmek için genellikle akım genliği, yükselme süresi, dolma ve enerji gibi önemli parametreler kullanılmaktadır. Bu parametrelerin büyüklükleri yıldırımın etkisini belirler. Yıldırımın etkilerini beş ana başlıkta toplayabiliriz: Elektrodinamik etki, basınç ve ses etkisi, elektrokimyasal etki, ısı etkisi ve ısı etkisi.

2.3.1 Elektrodinamik etkisi

Bir iletkenin geçen yıldırım akımının doğurduğu magnetik alan ile dünyanın magnetik alanı arasında meydana gelen kuvvetler çok küçük değerlerdir. Yıldırım akım yolunun bir kısmı diğer bir kısmının magnetik alanı içinde bulunması halinde,

ise daha büyük kuvvetler oluşur. Bir iletkendeki yıldırım akımı ile, yeryüzü manyetik alanının karşılıklı etkileşimi nedeniyle, iletkenin her bir metresine yaklaşık 10 N mertebesinde önemsiz bir kuvvet uygulanır. Bu kuvvet sonucu, ince anten borularında ezilme, paralel iletkenlerden karşılıklı çarpışma, iletken kroşelerin sökülmesi vs. gözlenebilir.

Binaların yıldırıma karşı korunmasında ana prensip, yıldırım boşalmasının binaların iletken olmayan kısımlarına (ağaç, tuğla, taş, beton gibi...) geçmeden toprağa iletilmesini sağlamaktır. Aksi takdirde yıldırım akımı buralarda elektrodinamik ve ısı etkilerden kaynaklanan hasarlara neden olabilir.

2.3.2 Basınç ve ses etkisi

Yıldırımın boşalma kanalı içindeki elektrodinamik kuvvetlerden ileri gelen 2-3 Atü basınç, bu akım sonrasında patlama şeklinde havayı genişleterek gök gürültüsü oluşturur. Bu gürültü, yakında bulunanlara tıpkı bir bomba gibi bir patlama etkisi yaratırken, uzaklardan gök gürlemesi olarak duyulur. Gök gürültüsünün bir nedeni de meydana gelen ısı enerjisinin oldukça büyük ve ani bir olaya neden olmasıdır [3].

2.3.3 Elektrokimyasal etkisi

Bu etki Faraday yasası ile açıklanabilir. Elektrolitik parçalanma sonucu demir, çinko, kurşun gibi metaller açığa çıkar. Fakat bu olay için oldukça büyük akım şiddetine sahip yıldırım oluşması gereklidir [3].

2.3.4 Işık etkisi

Öncü akım boşalmaları gelişip, yere yaklaşp, atlama yaptığı noktadan geriye doğru gelişen ana boşalma ile nötralizasyon başladığında, oluşan bir iletken kanal çevresine çok parlak bir ışık yayar (ark olayı gibi). Bu ışık yakın mesafelerde göz kamaşması veya kısa bir an için görme zorluğu meydana getirebilir [3].

2.3.5 Isıl etkisi

Yıldırım olayında ısı enerjisi olarak ortaya çıkan enerji Joule Kanununa göre açıklanır.

Dolayısıyla elektriksel direncin büyük olduğu noktalarda büyük ısı değerleri oluşabilir. Kesitleri yeterli büyük iletkenlerde her hangi bir etki görülmediği halde, küçük kesitli iletkenlerde (çapı bir kaç mm) yüzeysel erimeler, renk değişiklikleri, kaplama yanması gibi etkiler gözlenir. Zayıf temaslar da yıldırım akım yollarının

üzerinde özellikle tehlikeli noktalardır. Bir ohm'un birkaç binde biri değerindeki temas direnci değerleri metal üreten kıvılcımları eritmeye yetecek kadar ısı üretir. Bu tür zayıf temas noktalarının yakınına kolay yanıcı bir malzeme yerleştirildiğinde tutuşma meydana gelebilir. Bu şekilde alevlenme özellikle patlama riski taşıyan ve patlayıcı üreten tesisler için son derece tehlikelidir. Ağaçlarda ve kayalarda oluşan yıldırımlarda, geçen akım yolu üzerindeki su birikintileri veya buharlaşabilecek başka maddeler varsa ani genleşme basınçları yüzünden ağaç, kaya gibi cisimler parçalanıp, yaralanabilirler. Buna ek olarak, yıldırım akımının büyüklüğüne göre; yıldırım boşalma noktası etrafındaki 30 m çapında bir daire içindeki alanda, normal açıklıktaki yürüyüş adımlarının yarattığı adım gerilimi dediğimiz gerilim yüzünden, oldukça tehlikelidir. Bu yüzden yıldırımlı havalarda açık yerlerde ayakların mümkün mertebe birbirine bitişik tutulması, ağaç ve duvarlara yaslanılmaması önerilir [3,7].

3. YILDIRIMDAN KORUMA

3.1 Yıldırımdan Koruma

İnsanları, binaları, tesisleri ve donanımları yıldırımın etkilerine karşı korumak amacıyla, yıldırım boşalmalarının kontrolü ve yönlendirilmesi elektrik mühendislerinin yıllardır devam eden bir uğraşı alanı olup, yıldırım boşalmasının kesin olarak tanımlanamayan bazı belirsiz yanları nedeniyle hala daha bu konudaki çalışmalar devam etmektedir. Yıldırımdan korumada amaç, yıldırımın doğrudan veya dolaylı etkilerini ortadan kaldırmak veya en aza indirmektedir. Eski tarihlerde yıldırımın verdiği zarar can güvenliği ve yangın ile sınırlıyken; gelişen teknoloji ve yaşam standartları koruma olgusu ve kapsamını çok daha ileri noktalara getirmiştir.

Günümüzde yaygın olarak kullanılan üç farklı yıldırıma karşı koruma sistemi vardır.

- 1) Bulut yükünü, yerle etkileşim öncesinde boşaltan düzenekler.
- 2) Yıldırımı yakalayan ve bulut yükünü toprağa boşaltan yakalama uçlu düzenekler.
- 3) Yıldırım boşalmasını engelleyen düzenekler.

Birinci grup koruma çok ender ve özel durumlarda tercih edilir. İkinci grup, Franklin çubukları olarak da adlandırılan yakalama uçlarıyla yıldırımı yakalayan ve bir iletken yol (iniş iletkenleri) ve yüksek iletkenlikli bir topraklama sistemi üzerinden toprağa akıtan düzeneklerdir. Amaç, bir bölgeye düşebilecek yıldırımları üzerine çekmek ve bulut yükünü toprağa akıtmaktır. Faraday Kafesi ile desteklenmiş yakalama uçları daha etkin bir koruma sağlarlar. Franklin yakalama uçlarının yakalama performanslarını arttırmak amacıyla, ön iyonizasyon oluşturan elektrotlara sahip, aktif yıldırımlık olarak da adlandırılan yakalama uçları geliştirilmiştir. Bu yakalama uçlarının, uçlarında oluşturulan ön boşalma ile boylarının izafi olarak uzadığı ve bu halleri ile daha yükseğe yerleştirilmiş Franklin çubukları gibi davranacakları ve dolayısıyla daha büyük bir alanı koruyacakları iddia edilmektedir.

Yıldırımı yakalayan ve toprağa ileten düzeneklerin en önemli sakıncaları, yüksek akımları toprağa iletirken iletkenlerde meydana gelen aşırı elektriksel, mekanik ve ısıl zorlanmalar ve bu iletkenler çevresinde oluşan yüksek manyetik alanların olumsuz etkileridir. Bu sakıncayı gidermek için, çok sayıda sivri uçlu elektrot kullanarak, bu elektrotların oluşturacağı ön iyonizasyon vasıtasıyla koruma bölgesine yıldırım düşmesini engelleyen düzenekler geliştirilmiştir. Çok noktalı boşalma düzenekleri olarak adlandırılan bu koruma sistemleri, daha çok yüksek kuleler, petrokimya tesisleri, patlayıcı ve yanıcı madde içeren hacimler için kullanılmaktadır.

Yukarıda kısaca açıklanan yıldırımdan koruma sistemlerinin kullanım amacı:

- a) Yangına karşı koruma,
- b) Yayılan veya iletilen elektromagnetik etkilere karşı cihazları koruma,
- c) Aşırı gerilimlere karşı korumadır.

Yangına karşı koruma, yıldırımın kolay alev alabilecek yapılardan farklı yerlere yönlendirilmesini sağlar. Yıldırım, güneş yüzeyinden yaklaşık olarak beş kat daha sıcaktır ve bir yıldırım boşalmasının maksimum gücü 100 MW mertebesinde. Tek bir yıldırım boşalmasında çevredeki yapıların büyük çoğunluğunun yanmasına yetecek kadar enerji olabilir. Bu nedenle, yangın tehlikesini ortadan kaldırmak için, yıldırımın yapıların üstüne düşmesini engelleyecek yolların bulunması gerekir. Topraklanmış bir yakalama çubuğu, iyi bir topraklama ve iletkeniyle beraber bu işi basit bir şekilde gerçekleştirebilir.

Yıldırım sonucu oluşan ve iletilen elektromagnetik darbelere karşı koruma; elektrik-elektronik aletlerin iyi topraklanarak, oluşabilecek geçici akım ve gerilimlere karşı yeterli koruma sağlanarak, yıldırımın etkilerini ortadan kaldırmaya yöneliktir [8].

Yayılan elektromagnetik darbelere karşı koruma, gerekli yalıtım ve ekranlama yapılarak, korunacak mekanın, yakınına düşen bir yıldırım sonucu yayılan elektromagnetik darbelerden etkilenmemesini sağlamaya yöneliktir.

Aşırı gerilimlere ve güçlere karşı koruma ise, yıldırımla ve koruma sistemleri ile ilgili standart ve yönetmeliklerde istenen güvenlik önlemlerini alarak, koruma sistemi etrafında gerekli uyarıların yapılmasıdır.

3.2 Yıldırımdan Koruma Sistemleri

Yıldırım boşalmalarına karşı koruma önlemi alabilmek için yıldırımı tanımak yani kutbiyeti, yükü, akım genliği, dalga biçimi gibi karakteristik büyüklüklerini bilmek gerekir. Bu büyüklüklerin istatistiksel büyüklükler olduğu ve boşalma yolunun uzunluğu (bulut ve toprak arasındaki uzaklık) ve akım kaynağı geriliminin (bulut potansiyeli) geniş sınırlar içinde değişebilmesi nedeniyle, geniş bir değişim aralığına sahip oldukları unutulmamalıdır. Atmosferik koşullar da yıldırım boşalmalarında önemli rol oynarlar.

Yıldırımı yakalayan ve bulut yükünü toprağa boşaltan yakalama uçlu düzenekler üç ana kısımdan oluşur: Yakalama ucu, indirme iletkeni, topraklama elektrodu.

a) Yakalama ucu:

Doğru tasarlanmış bir yakalama ucu, yıldırım boşalmasının, korunan hacme düşmesi olasılığını düşürür. Yakalama ucu sistemleri, aşağıdaki elemanların, yapıya uygun birleşiminden meydana gelir:

- Çubuklar,
- Gerilmiş teller,
- Kafes biçiminde bağlanmış iletkenler.

b) İndirme iletkenleri:

İndirme iletkenleri, tehlikeli kıvılcım oluşma olasılığını azaltmak üzere, çarpma noktasından toprağa kadar; birkaç paralel akım yolu oluşturacak ve akım yolu uzunluğu en küçük değerde tutulacak biçimde düzenlenmelidir. İndirme iletkenleri, mümkün olduğunca, yakalama ucu iletkenlerinin doğrudan devamı olacak şekilde düzenlenmelidir.

c) Topraklama elektrodu:

Yıldırım yükünü toprağa ileten son bileşendir. Yıldırım akımının tehlikeli aşırı gerilimlere yol açmaksızın, toprak içine dağıtılması için, topraklama bağlantısı sistemlerinin biçimi ve ölçüleri, topraklama elektrotunun öz direncinden daha önemlidir. Bununla birlikte, genel olarak düşük bir topraklama direnci istenir.

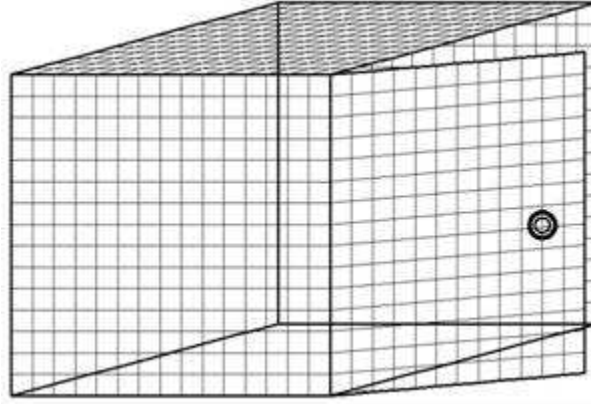
Yıldırımdan korunmada, bütünleştirilmiş bir topraklama bağlantısı sistemi tercih edilir. Bu topraklama sistemi yıldırımdan koruma, alçak gerilimli güç sistemlerinin

işletim topraklaması ve iletişim sistemlerinin topraklanması gibi çok amaca uygun düzenektir. Başka nedenlerle ayrılması gereken topraklama bağlantısı sistemleri, uygun standartlara göre bir eşpotansiyel kuşaklama ile bütünleştirilmiş olan bir sisteme bağlanmalıdır. Topraklama elektrotları olarak; bir veya daha çok halka elektrotlar, düşey (veya eğimli) elektrotlar, radyal elektrotlar veya temeldeki topraklama elektrotları tercih edilebilir. Bununla birlikte, derine çakılan elektrot toprak özdirencinin derinlikle azaldığı yerlerde ve çubukların normal olarak çakıldığı derinliklerden daha derinlerde düşük özdirençli alt tabakaların bulunduğu yerlerde etkilidir [9].

3.2.1 Faraday kafesi

Faraday kafesi, korunması istenen hacmin etrafının, uygun bir metalle kaplanması ve bu sayede hacmin dışındaki yüksek frekanslı gerilimlerin, elektromagnetik parazitlerin ve her türlü elektriksel gürültülerin içeriye sızmasını ve benzer şekilde içerden dışarıya geçmesini engelleyen elektrostatik zırhlama işlemidir (şekil 3.1). İletken bir tel ile çevrilmiş ve topraklanmış her kafesle ekranlama gerçekleştirilebilir.

Yıldırımdan koruma için kullanıldığında, Faraday kafesi çaprazlanmış aė şeklinde yapılandırılmış iletken tellerden oluşan ve binaları kuşatan düzene verilen isimdir. Kafeste kullanılan iletkenler arasındaki uzaklık ne kadar küçükse kafesin elektrostatik girişimleri ve radyo frekanslarını zayıflatması o kadar etkili olur. Uzaklığın artması, dolayısıyla koruma seviyesinin azalması durumunda, yakalama uçları sisteme eklenebilir. Bu şekilde bir koruma, sık aralıklarla döşenmiş bir Faraday kafesinin maliyetinden daha az olabilir. Bu tür bir koruma daha da etkili olur. Çünkü bu korumada sadece yıldıırımın doğrudan korunan hacme düşmesi engellenmekle kalınmaz, aynı zamanda, yakın civara düşen yıldıırımın oluşturacağı elektromagnetik darbelerin ve geçici aşırı gerilimlere karşı bir koruma (ekranlama) sağlanır [6].



Şekil 3.1: Faraday kafesi.

3.2.2 Franklin çubukları (Yıldırımlık)

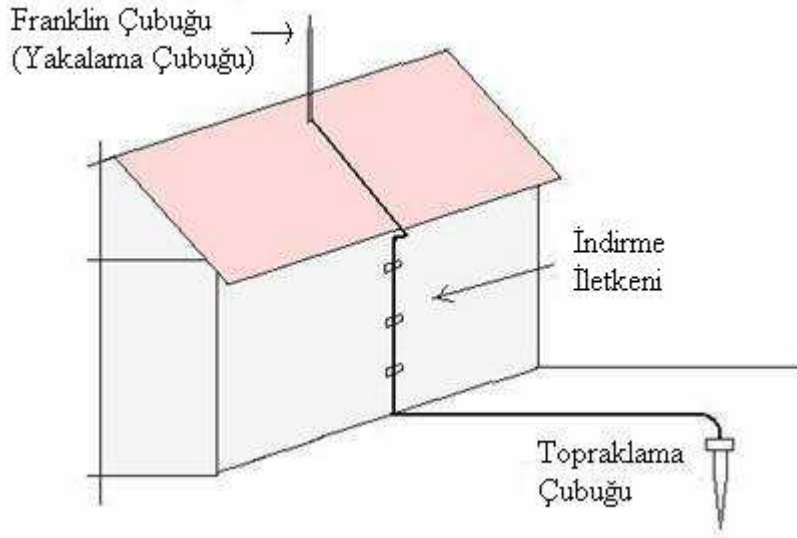
Günümüzde yıldırımlık olarak kullandığımız koruma sistemlerinin temelini Benjamin Franklin'in 1700'lü yılların sonlarında yaptığı çalışmalar oluşturur. Franklin yıldırımın elektriksel bir boşalma olduğunu kesin olarak kanıtladıktan sonra, deneylerinde yüklenmiş bir cismin sivri olmayan-topraklanmış iletken ve sivri uçlu-topraklanmış iletken arasındaki etkileşimi incelemiştir. İncelemeler sonucu görmüştür ki; yüklü cisim ile sivri olmayan-topraklanmış iletken arasında bir kıvılcım oluşmasına rağmen yüklü cisim ile sivri uçlu topraklanmış iletken arasında bir kıvılcım oluşmamıştır. Ayrıca yüklü cisim yükünü iletken üzerinden toprağa boşaltmıştır. Bu noktadan hareketle Franklin şöyle bir iddia ortaya atmıştır: "Yıldırımdan korunması istenen yapıların üstlerine yerleştirilecek sivri uçlu ve topraklanmış çubuklar, yıldırım bulutunda biriken yüklerin boşalmasını sağlar ve yıldırımın yapıya ve çevresine zarar vermesini engelleyebilir."

Franklin'in bu iddiasından sonra Franklin ve onun gibi düşünenler, yapılarını bu çubuklarla ve topraklama iletkenleriyle donatmışlardır. Bu koruma çubuklarının, yıldırım oluşumunu engellediği kanıtlanamadıysa da, koruma çubuklarıyla donatılmış bir yapıya yıldırım düşmesi durumunda yıldırım koruma çubuğu tarafından çekilerek iletken üzerinden toprağa doğru yönlendirildiği görülmüştür. Bunun üzerine Franklin önceki savını, "Koruma çubukları yıldırım oluşumunu engellemiyor, yıldırımın toprağa güvenli bir şekilde ulaşmasını sağlıyor" şeklinde değiştirmiştir [10].

Franklin'in, sivri uçlu çubukların yıldırımdan korumadaki yararını gösteren bu gözleminden sonra, dünya genelinde birçok tesis ve yapılara bu düzenekler

yerleştirilmiştir. Sık sık yıldırımdan olumsuz etkilenen pek çok yüksek yapının, kurulan koruma düzenekleri sayesinde yıldırımdan korunduğu rapor edilmiştir. Yetersiz sayıda yakalama ucu, uygun boyutlandırılmayan iletkenler veya iletkenliği iyi olmayan elemanların kullanımından dolayı bazı sistemlerde arızalar meydana gelmiştir. Sistemin çalışma ve arıza durumları üzerinde yapılan analizler sayesinde tespit edilen ilkeler doğrultusunda ileri seviyede bir koruma yapılmaya çalışılmıştır.

Günümüzde Franklin Çubuğu Esaslı Yıldırımlık olarak adlandırdığımız bu koruma sistemi, Franklin'den sonra deneme yanılma yöntemiyle geliştirilerek günümüzde kullanılan şekilleri almıştır. Bu koruma sistemleri yapı üzerine yerleştirilen yakalama çubuğu, iyi bir topraklama sistemi ve bu ikisini bağlayan düşük empedanslı iletkenlerden oluşur (Şekil 3.2).



Şekil 3.2: Franklin çubuğu esaslı yıldırımdan koruma sistemi.

3.2.3 Aktif yıldırımlıklar

Aktif yıldırımlıklar olarak adlandırılan Erken Akış Uyarılı (EAU) yıldırımdan koruma sistemleri, yıllardır devam eden yıldırımdan koruma çalışmaları içinde etkili koruma sağladığı iddia edilen güncel yöntemlerden biridir. Ancak sistemin dayandığı bilimsel ve teknik temeller bazı sorulara açıktır ve hala herkes tarafından kabul görmüş bir koruma sistemi olamamıştır [11].

EAU sistemler de, Franklin çubukları gibi yıldırımı yakalayan düzenlerdir. Bu sistemlerin, Franklin çubuklarından farklı olarak, yıldırımı daha etkin yakalayacak

şekilde donatıldıkları iddia edilmektedir. Bu sayede daha geniş bir alanda koruma sağladığı ileri sürülmektedir. Buradaki ek donanım, çubuğa yerleştirilen ufak bir tetikleyici ve buna bağlı ek elemanlardır. Bu tetikleyici kullanıldığında yukarı ilerleyen pozitif yüklerin toprağa ilerleyen negatif yüklerle daha çabuk birleştiği iddia edilmektedir. EAU çubukları, geometrik şekil olarak da Franklin çubuklarından farklı olabilirler.

Tasarım olarak farklı EAU sistemleri mevcuttur. Ancak hepsinde boşalmayı tetiklediği ve çubuk ile bulut arasında boşalma kanalı oluşma olasılığını artırdığı öne sürülen bir düzenek bulunur. EAU çubukları, tıpkı yıldırımlıklar gibi, ne kadar yüksekte konumlandırılırsa o kadar verimli bir koruma sağlar.

EAU sistemleri genel olarak üç tipte incelenir:

- 1) Radyoaktif kaynak başlıklı çubuklar,
- 2) Elektrikli tetikleme cihazları başlıklı çubuklar,
- 3) Lazer ışını kullanılan sistemler.

Bunlardan ilk ikisi koruma sahalarında kullanılmakta, üçüncüsü üzerindeki araştırmalar ise devam etmektedir [11].

Radyoaktif kaynak temelli EAU sistemler en çok kullanılan ve üzerinde en çok tartışılan sistemlerdir. Çubuk ucuna etkiyen radyoaktif maddeler sayesinde uçta sürekli olarak bir iyonizasyon vardır. İyonizasyon sayesinde çubuk ucunda elektrik alan şiddeti artacak ve çubuktan buluta doğru bir boşalma başlayacaktır. Bunun sonucunda iki boşalmanın birbiri ile buluşma olasılığı artırılarak yıldırımın akması için güvenli bir yol sağlanmış olacağı savunulur. Ancak bu sistemler yıldırımdan korumada her ne kadar başarılı oldukları iddia edilse de, yaydığı radyasyon nedeniyle Türkiye dahil pek çok ülkede kullanımı yasaklanmıştır.

Son yıllarda elektrikli tetikleme cihazları başlıklı EAU sistemleri kullanılmaya başlanmıştır. Radyoaktif EAU sistemlerine benzer şekilde çubuk etrafındaki iyonizasyonu arttırmak amacıyla tasarlanan elektrikli tetikleme cihazları sağlık ve çevresel açıdan da zararsızdır. Ayrıca çubuk etrafındaki iyonizasyon kontrol edilebilir bir işlem haline gelir.

Elektrikli tetikleme cihazlarına bağlı EAU sistemleri, bulut tarafında başlayan elektriksel boşalmayı hissedip, elektriksel bir işaret üretecek algılayıcılarla

donatılırlar. Algılayıcıların ürettiği elektriksel yüklerin şiddeti, yaklaşan yıldırım boşalmasının yarattığı elektrik alanıyla veya elektrik alanının değişim hızıyla orantılı olarak değişir. Algılayıcı çıkış işareti belirli bir eşik değerini geçtiğinde, çubuğun ucuna hızlı gerilim darbeleri uygulayacak olan devre tetiklenir. Çubuk ucuna uygulanan bu gerilim darbeleri, çubuk ucunda elektrik alan şiddetini yükselterek, çubuktan buluta doğru bir boşalma olmasını sağlar. Bunun sonucunda iki boşalmanın birbiri ile buluşma olasılığının artırılıp, yıldırımın akması için güvenli bir yol sağlandığı savunulur. Radyoaktif çubuklardaki sürekli iyonizasyon yerine, elektrikli tetikleme cihazlarına bağlı EAU sistemlerinde gerektiğinde yaratılan bir iyonizasyon vardır [11].

Bir EAU yıldırımlığı ile eşdeğer Franklin çubuklu sistemin üst uçlarının yük yaymaya başladığı ortalama zamanlar sırasıyla T_{EAU} ve T_{SR} ile gösterilirse, sistemlerin yük yaymaya başladığı zamanlar arasındaki fark (ΔT);

$$\Delta T = T_{SR} - T_{EAU} \quad (3.1)$$

ifadesiyle hesaplanır. EAU için hesaplanan bu zaman farkı (ΔT), koruma yarıçapının hesaplanması için kullanılır.

Öncü boşalma ve yerden yukarı doğru yükselen boşalmanın birleştiği nokta (birleşme noktası) ile yıldırımın yere düştüğü nokta arasındaki mesafe çarpışma mesafesi (D) olarak bilinir. D yarıçapında, merkezi birleşme noktasında olacak hayali bir küre ve yıldırımlığın, yerleştirildiği yüzeye (binanın çatısı, zemin vs.) göre yüksekliği (h) göz önüne alındığında üç olasılık bulunmaktadır:

- Eğer küre sadece yıldırımlıklarla temas ederse, yıldırımlık çarpma noktası olacaktır.
- Eğer küre yıldırımlıklarla değil de yıldırımlığın yerleştirildiği yüzeye temas ederse çarpma noktası sadece yeryüzündeki bir nokta olacaktır.
- Eğer küre aynı anda yıldırımlıklarla ve yıldırımlığın yerleştirildiği yüzeye temas ederse iki çarpma noktası olasılığı bulunmaktadır.

Çarpışma mesafesi (D) genellikle şu denklemle hesaplanır [7]:

$$D(m) = 10 \cdot I^{2/3} (kA) \quad (3.2)$$

Burada I ; kiloamper (kA) cinsinden birinci geri dönüş darbesinin tepe akımını gösterir.

Çıkış yönündeki akımın uzunluğundaki fark (ΔL),

V akım ilerleme hızı olmak üzere

$$\Delta L \text{ (m)} = V \text{ (m/}\mu\text{s)} \cdot \Delta T \text{ (}\mu\text{s)} \quad (3.3)$$

formülüyle hesaplanır.

Buna göre R_p korunma yarıçapı;

D: çarpma mesafesi (m),

ΔL : çıkış yönündeki akımın uzunluk farkı (m),

h: korunacak yüzey üzerinde EAU paratonerinin uç yüksekliği (m),

R_p : EAU yıldırımlığının korunma yarıçapı (m),

olmak üzere;

$$R_p = h (2D - h) + \Delta L (2D + \Delta L) \quad (3.4)$$

formülüyle hesaplanır [7].

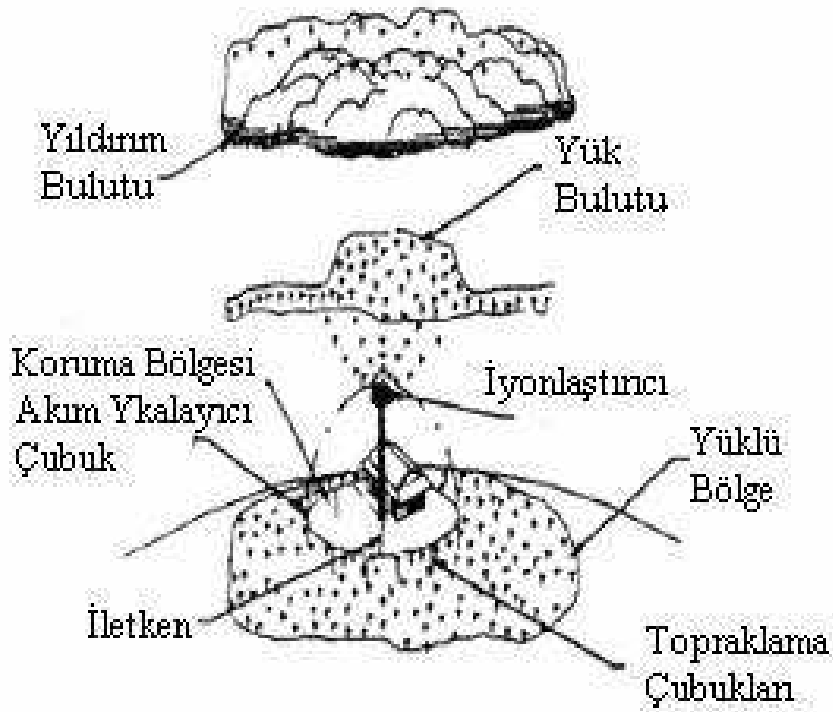
3.2.4 Yıldırımı engelleyen düzenler

Sivri uçların iyonları yayması, Franklin'e sivri uçlu bir çubuğun yıldırım bulutunu boşaltabileceğini ve yıldırım oluşumunu engelleyeceğini düşündürmüştü. Franklin'in bunu tek bir çubukla denemesi bu görüşünü değiştirmesine ve çubuğun yıldırımı engelleyen değil çeken bir cisim olarak görmesine neden olmuştu.

Franklin'in bu çalışmalarından yola çıkan J.M. Cage, aynı amaç için birden çok çubuk kullanılması durumunda, yıldırım bulutundaki yükün boşaltılabileceği düşüncesiyle, 1930 yılında, yıldırımı önleyecek bir sistem olarak düşündüğü yıldırım engelleyici düzenin patentini almıştır. Yıldırımı engelleyen düzenlerin temel çalışma ilkesi, birçok sivri uçlu cismi bir arada kullanarak, çok noktadan iyon yayarak havada bir yük bulutu oluşturmaktır. Oluşturulacak bu yük bulutu sayesinde, yıldırım bulutunun boşalmasının önlenebileceği öngörülmektedir. Ancak yayılan iyonların uç çevresinde korona etkisi yaratması, sivri ucun ortama yayacağı korona boşalma akımı ile sınırlıdır. Bu nedenle uç sayısının hesap yoluyla belirlenmesi gerekmektedir. 1971 yılında prototipleri üretilen bu sistemler hemen pazarlanmaya başlanmıştır. 1976 yılına kadar, NASA tesislerinin de içinde bulunduğu birçok yerde kullanılmışlardır [12]. 1973 yılında Elgin Hava Kuvvetleri Üssünde [13], 1974/1975 yıllarında Kennedy Uzay İstasyonunda [14], yine bu yıllarda birçok mobil iletişim

kulesinde, 1988/1989 yıllarında Federal Havacılık Dairesine ait bazı hava alanlarında tesis edilen yıldırım engelleyen düzenlerin birçok kez yıldırım engellemede etkisiz oldukları görülmüş ve korunması istenilen yerlere yıldırım düşmesi sonucu yapılarda ve bazı cihazlarda hasar tespit edilmiştir [12]. Üretici firmaların bu düzenlerin pazarlanmasında ve kullanılmasındaki ısrarcı tavrı nedeniyle bu düzenler üzerindeki araştırmalar devam etmektedir [15-21].

Yıldırım engelleyen düzenler de diğer koruma sistemleri gibi üç elemandan oluşurlar: Yükleri yayan iyonlaştırıcı, topraktaki yükleri toplayan akım yakalayıcı çubuk ve bu iki elemanı birbirine bağlayan iletken kablo (Şekil 3.3) [22].



Şekil 3.3: Yıldırım engelleyen düzen.

4. DENEYLER

Bu bölümde iki farklı tipte YED ve bir adet Franklin çubuğu tipi yıldırımlığın yıldırım yakalama performanslarını kıyaslamalı olarak belirlemek üzere İ.T.Ü. Fuat Külünk Yüksek Gerilim Laboratuvarında gerçekleştirilen deneyler anlatılacaktır. Bu deneylerde, sözü geçen koruma sistemlerinin;

1. 300/2500 μ s'lik negatif açma-kapama darbe deney gerilimleri için %50 atlama gerilimleri,
2. Aynı elektrojeometrik koşullarda, 300/2500 μ s'lik negatif açma-kapama darbe deney gerilimleri için yakalama oranları ve
3. 300/2500 μ s'lik açma-kapama darbe deney gerilimleri için korona boşalma akımları ölçülmüştür.

4.1 Deney Devresi

Deney devresi 300/2500 μ s'lik açma-kapama darbe deney gerilimleri üretmek ve ölçmek için oluşturulmuştur. Devreyle ilgili ayrıntılar aşağıda belirtilmiştir.

4.1.1 Deney düzeneği ve devre elemanları

%50 atlama gerilimi ve aynı elektrojeometrik koşullarda yakalama oranı deneylerinde kullanılan deney devresi Şekil 4.1'de verilmiştir.

Devredeki elemanlar ve özellikleri aşağıdaki gibidir.

DG : Darbe generatörü, 3600 kV, 180 kJ, 18 katlı

R_0 : Ön direnç (30 kOhm)

C_K : Kuplaj kondansatörü (2,5 nF)

K : Kesme küreleri (25 cm çaplı, düşey düzende küresel elektrotlar)

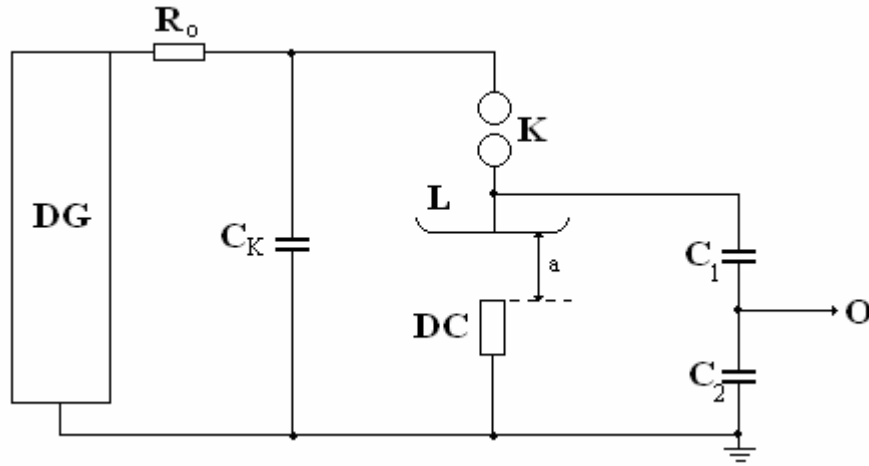
L : Bulutu temsil etmek için kullanılan 5,0 m x 3,5 m alüminyum levha elektrot (10 mm kalınlık ve 15 cm çaplı kenar eğriliği)

a : Bulut-deney cismi arası uzaklık (elektrot açıklığı)

DC : Deney Cismi (Franklin yakalama ucu, EvoDis®-10 veya EvoDis®-55)

$C_1 - C_2$: Kapasitif Gerilim Bölücü, Seri No:103400, Kalib. No/Tarih: G1YG-0044/
03.04.2007

O : Ölçme düzeni, 150 kHz, çift kanallı dijital osiloskop, Seri No: E110498, Kalib.
No: G1YG-0018, Kalib. Tar.: 03.04.2007



Şekil 4.1: %50 Atlama gerilimi ve aynı elektrogeometrik koşullarda yakalama oranı deneylerinde kullanılan deney devresi.

4.1.2 Deney numuneleri

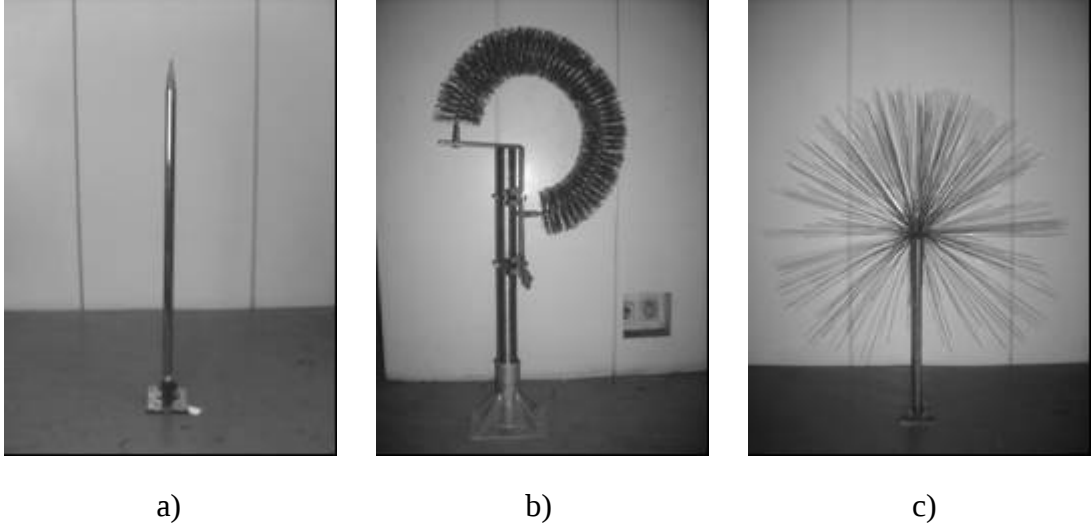
Deneylerde İ.T.Ü. Fuat Külünk Yüksek Gerilim Laboratuvarı na ait bir yıldırımılık (55 cm uzunluğunda, 15 mm çaplı silindrisel Franklin yakalama ucu, 5 cm' lik konik sivri uç) ve MTO Mühendislik firmasından temin edilen EvoDis®-55 ve EvoDis®-10 isimli iki farklı YED kullanılmıştır. Deney numuneleri Şekil 4.2'de gösterilmiştir.

4.2 Deneylerin Yapılışı

Şekil 4.2'de fotoğrafları gösterilen deney numunelerinin tabi tutulduğu deneyler aşağıda açıklanmıştır.

4.2.1 %50 Atlama gerilim deneyleri

Şekil 4.1'de verilen deney düzeneği kullanılarak oluşturulan deney montajında (Şekil 4.3' de deney düzeneğinin fotoğrafı verilmiştir) Franklin yakalama çubuğu, EvoDis®-55 YED (YED 1) ve EvoDis®-10 YED' in (YED 2) 300/2500 μ s'lik negatif kutbiyetli açma-kapama darbe deney gerilimleri (Şekil 4.4) için, dört farklı elektrot açıklığında (2 m, 3 m, 3,5 m, 4 m) %50 atlama gerilimleri belirlenmiştir.

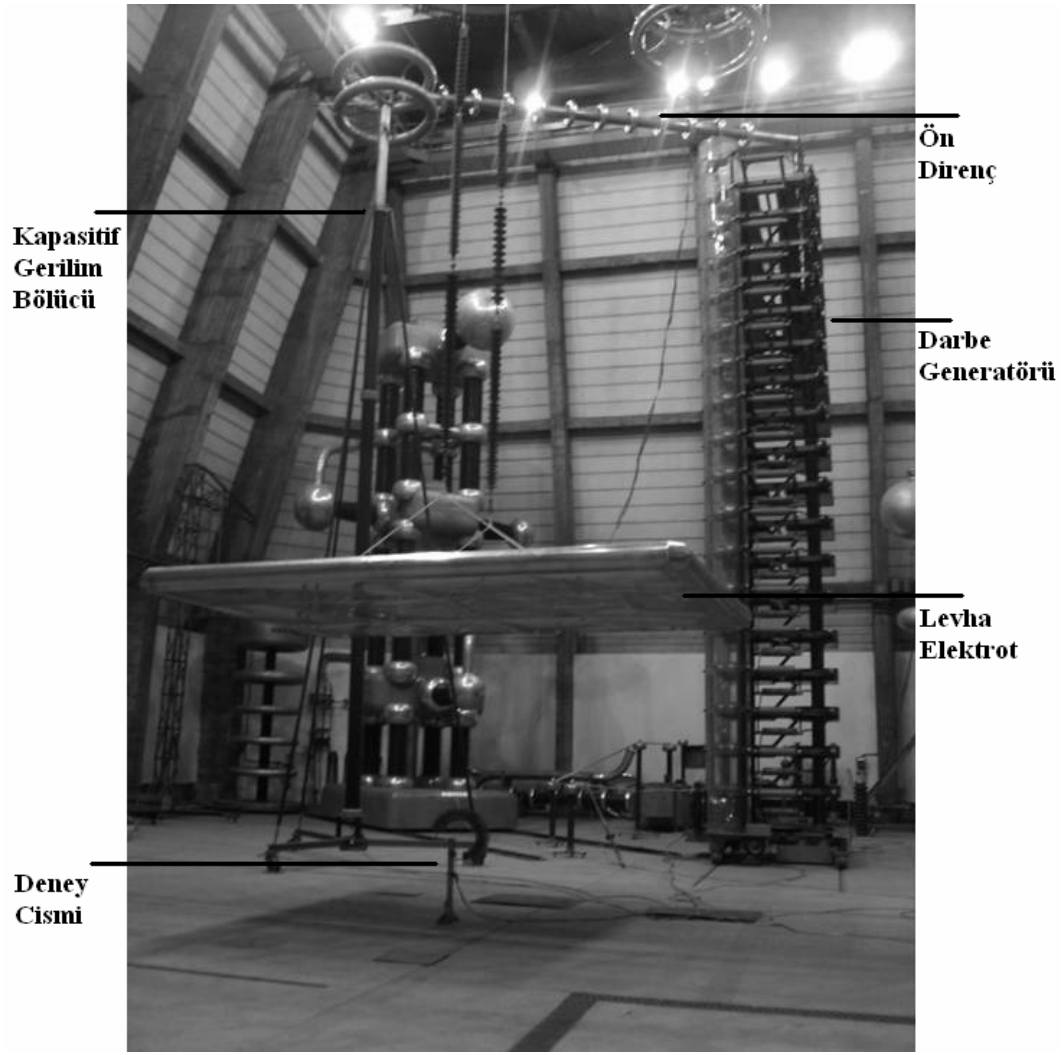


Şekil 4.2.: a) Franklin yakalama ucu
b) EvoDis®-55 isimli YED (YED 1)
c) EvoDis®-10 isimli YED (YED 2)

Her bir elektrot sistemi ve açıklık için yeterli sayıda deney gerilimi uygulanarak ve IEC 61060’da belirtilen “aşağı-yukarı” yöntemi ile belirlenen %50 atlama gerilimleri Çizelge 4.1’de verilmiştir. Şekil 4.4, 4.5, 4.6 ve 4.7’de örnek deney gerilimleri ve Ek A’ da deneye ait diğer ayrıntılar verilmiştir.

Çizelge 4.1: 300/2500 μ s’lik açma-kapama darbe deney gerilimleri için %50 atlama gerilimleri.

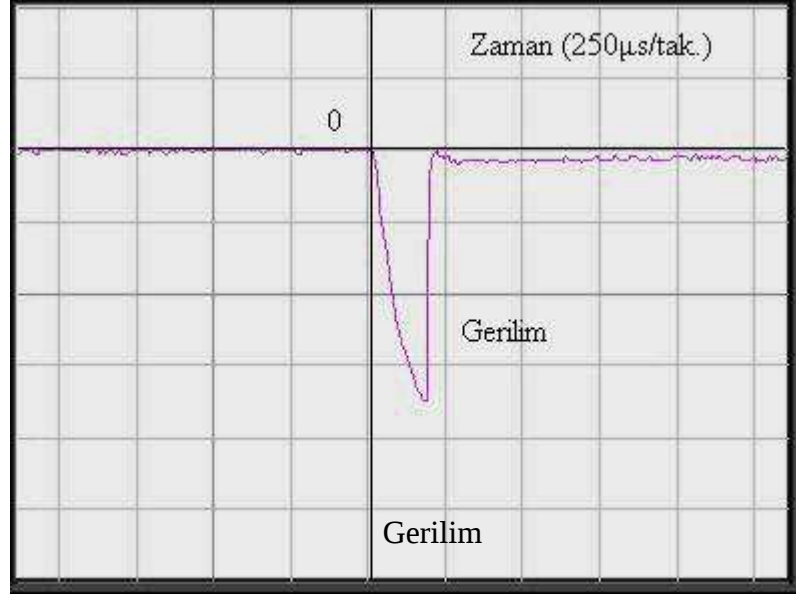
Açıklık, a (m)	Atlama Gerilimi (kV_{tepe})		
	Franklin Çubuğu	YED 1	YED 2
2	-838	-1036	-914
3	-1370	-1559	-1400
3,5	-1659	-1765	-1676
4	-1874	-2103	-1915



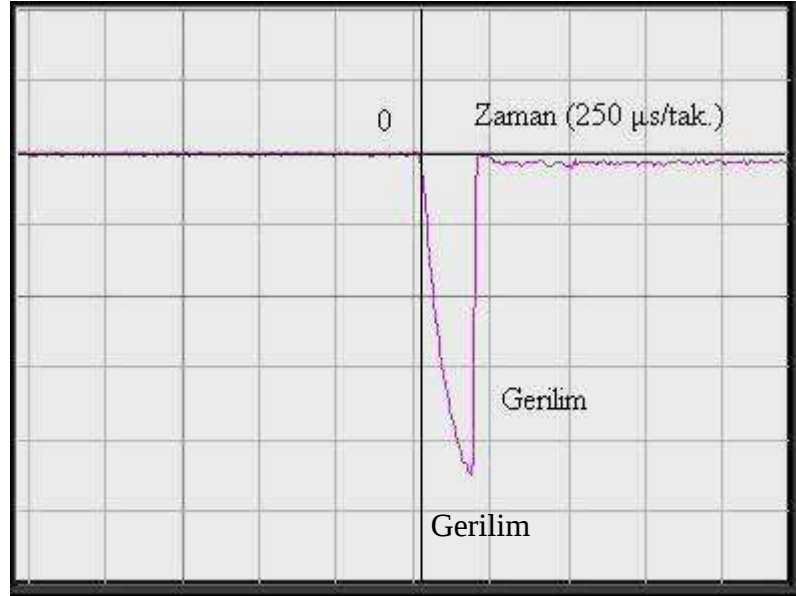
Şekil 4.3: %50 Atlama gerilimi deneyleri deney montajı.



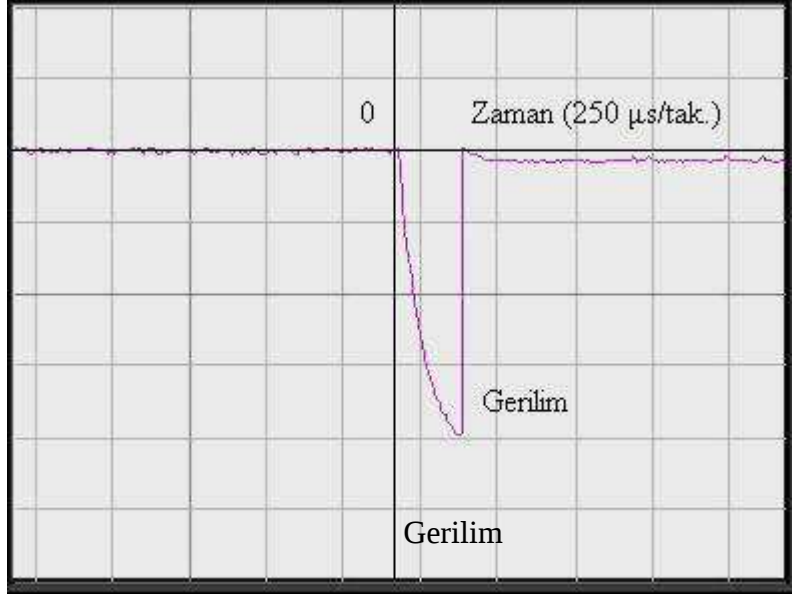
Şekil 4.4: Franklin çubuğu için örnek %50 deney gerilimi şekli.



Şekil 4.5: Franklin çubuğuna uygulanan açma-kapama darbe deney geriliminde atlama örneği. (Elektrot açıklığı: $a = 2\text{m.}$, $U_{\text{atlama}} = -822\text{ kV}$)



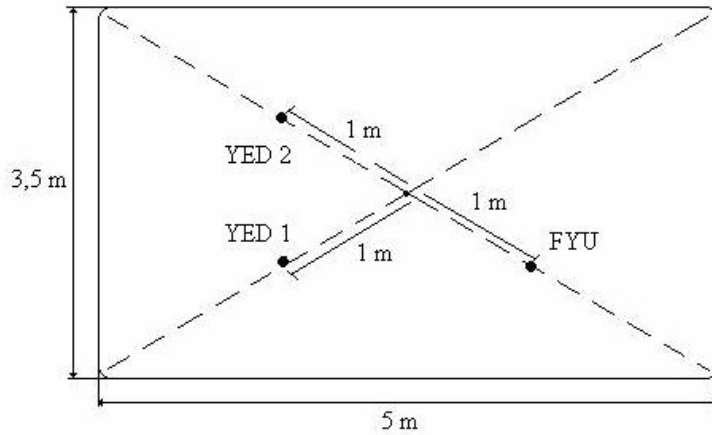
Şekil 4.6: YED 1' e uygulanan açma-kapama darbe deney geriliminde atlama örneği. (Elektrot açıklığı: $a = 2\text{m.}$, $U_{\text{atlama}} = -1061\text{ kV}$)



Şekil 4.7: YED 2' ye uygulanan açma-kapama darbe deney geriliminde atlama örneği. (Elektrot açıklığı: $a=2\text{ m}$., $U_{\text{atlama}} = -946\text{ kV}$)

4.2.2 Aynı elektrogeometrik koşullarda yakalama oranı deneyleri

Şekil 4.1'de verilen deney düzeneğinde, bulutu temsil etmekte olan $5\text{ m} \times 3.5\text{ m}$ boyutlarındaki dikdörtgen levhanın altına Şekil 4.8' deki gibi simetrik olarak yerleştirilen Franklin yakalama ucu, YED 1 ve YED 2 için, üç sistemde de atlama oluşturacak büyüklükte 100 adet negatif kutbiyette $300/2500\text{ μs}$ 'lik açma-kapama darbe deney gerilimi (Şekil 4.10) uygulanmıştır. Üç farklı elektrot açıklığı için yapılan deneylerde, her bir koruma düzenine ilişkin atlama sayıları Çizelge 4.2'de verilmiştir. Şekil 4.9'da ise, aynı elektrogeometrik koşullarda bulunan üç farklı koruma düzeni için, uygulanan açma kapama darbe gerilimlerinde atlamalara ilişkin örnek fotoğraflar verilmiştir.



Şekil 4.8 : Deney numunelerinin levha elektrot altına yerleşimi.

Çizelge 4.2: Aynı elektrojeometrik koşullarda, 300/2500 μs 'lik açma-kapama darbe deney gerilimleri için yakalama oranları.

Koruma Düzeni	Atlama Sayısı		
	Açıklık [m] / Uygulanan Gerilim [kV_{tepe}]		
	2 m / 1200 kV_{tepe}	3 m / 1750 kV_{tepe}	4 m / 2200 kV_{tepe}
Franklin çubuğu	86	92	87
YED 2	14	8	13
YED 1	0	0	0



a)

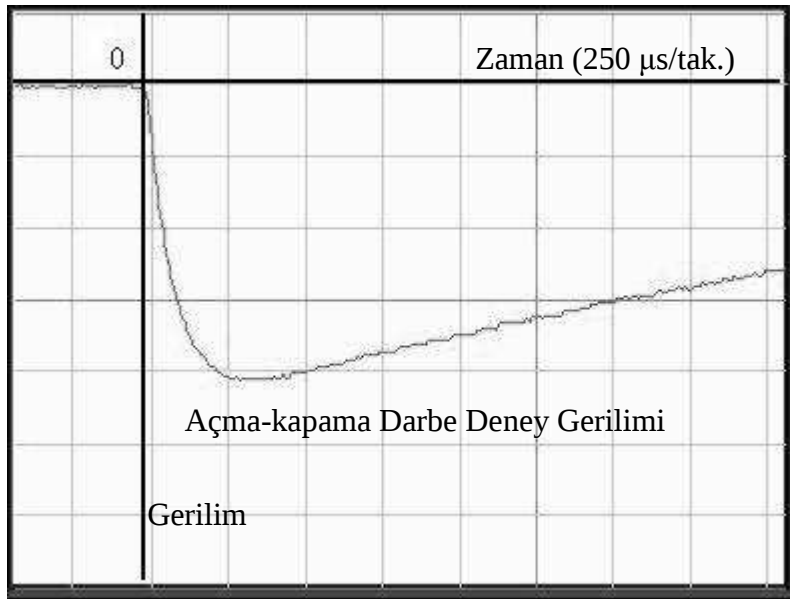


b)



c)

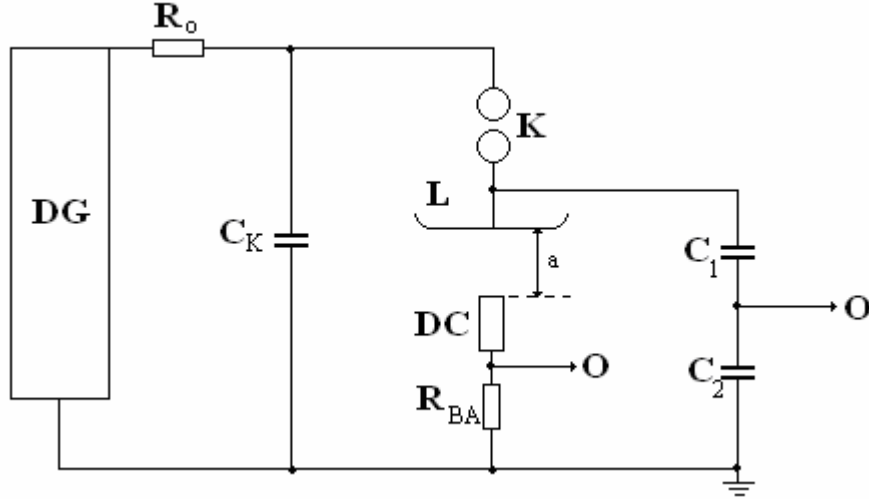
Şekil 4.9: Aynı elektrojeometrik koşullarda yakalama oranı deneyleri. (Atlama a) şeklinde YED 2' ye b) ve c) şekillerinde Franklin çubuğuna olmuştur.)



Şekil 4.10: 300/2500 µs'lik negatif kutbıyette darbe deney gerilimi.

4.2.3 Korona boşalma akımı deneyleri

Açma kapama darbe gerilimlerinde, üç koruma düzeneğinin korona boşalma akımlarını belirlemek amacıyla oluşturulan deney düzeneği Şekil 4.11'de verilmiştir.



Şekil 4.11: Korona boşalma akımı deneylerinde kullanılan deney devresi.

Devredeki elemanlar ve özellikleri aşağıdaki gibidir.

DG : Darbe generatörü, 3600 kV, 180 kJ, 18 katlı

R_0 : Ön direnç (30 kOhm)

C_K : Kuplaj kondansatörü (2,5 nF)

K : Kesme küreleri (25 cm çaplı, düşey düzende küresel elektrotlar)

L : Bulutu temsil etmek için kullanılan 5,0 m x 3,5 m alüminyum levha elektrot (10 mm kalınlık ve 15 cm çaplı kenar eğriliği)

a : Bulut-deney cismi arası uzaklık (elektrot açıklığı)

DC : Deney cismi (Franklin yakalama ucu, YED 1 veya YED 2)

$C_1 - C_2$: Kapasitif gerilim bölücü, Seri No:103400, Kalib. No/Tarih: G1YG-0044/03.04.2007

O : Ölçme düzeni, 150 kHz, çift kanallı dijital osiloskop, Seri No: E110498, Kalib. No: G1YG-0018, Kalib. Tar.: 03.04.2007

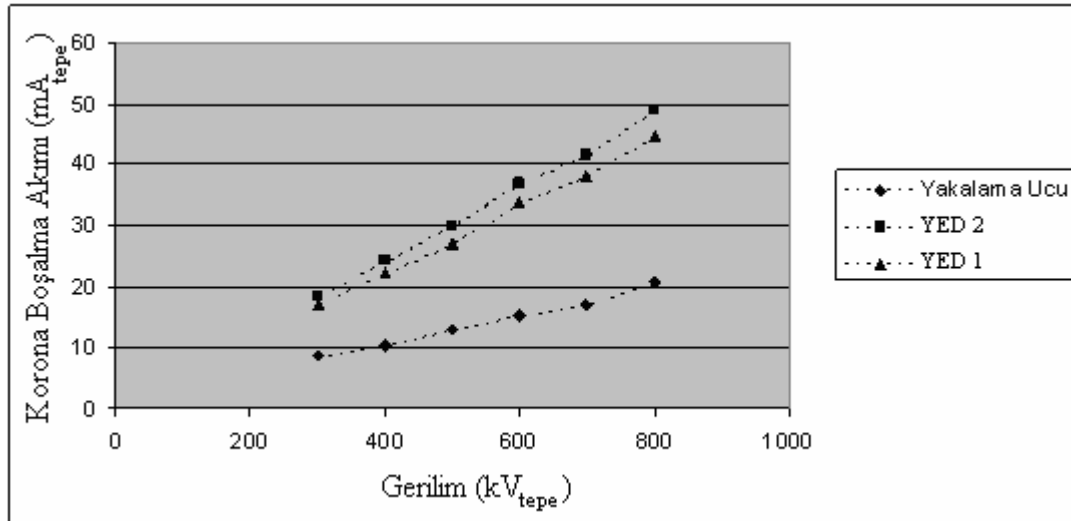
R_{BA} : Korona boşalma akımını ölçmek için kullanılan direnç (375 Ohm)

Şekil 4.11’de verilen deney düzeneği kullanılarak, Franklin yakalama ucu, YED 1 ve YED 2’ nin üç farklı elektrot açıklığında (2 m, 3 m ve 4 m), çeşitli genliklerde 300/2500 μs ’lık pozitif ve negatif kutbiyetli açma-kapama darbe deney gerilimleri uygulanmış ve bu gerilimlerde korona boşalma (emisyon) akımları osiloskopta gözlenerek tepe değerleri ölçülmüştür. Her açıklık ve her gerilim için üç kez

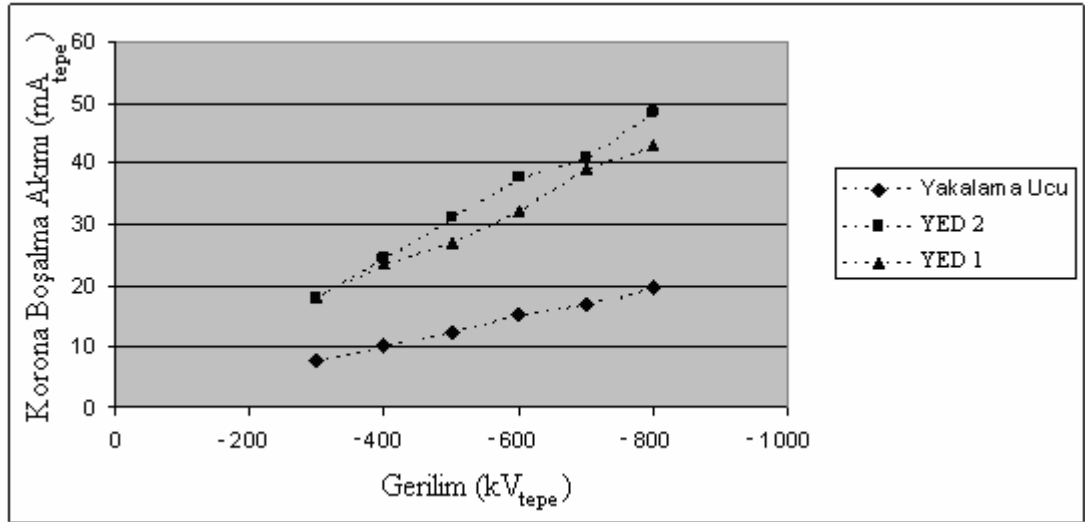
tekrarlanan ölçmelerin ortalamaları alınarak hesaplanan korona boşalma akımlarının tepe değerleri Çizelge 4.3, 4.4, 4.5'te ve Şekil 4.12-Şekil 4.17'de verilmiştir. Örnek korona boşalma akımları Şekil 4.18, 4.19 ve 4.20'de, uygulanan deney gerilimi ile birlikte gösterilmiştir. Deneye ait diğer ayrıntılar Ek B' de verilmiştir.

Çizelge 4.3: 2 metre elektrot açıklığı için ölçülen korona boşalma akımının tepe değerleri [mA_{tepe}].

Atmosfer Basıncı: 1015 mBar			Ortam Sıcaklığı: 27,6°C		Bağıl Nem : %53	
Gerilim	Pozitif Darbe			Negatif Darbe		
[kV _{tepe}]	FYU	YED 2	YED 1	FYU	YED 2	YED 1
800	20.89	48.95	44.81	-19.68	-48.49	-43.05
700	17.15	41.67	38.16	-17.04	-40.84	-39.23
600	15.21	36.96	33.82	-15.19	-37.68	-32.23
500	12.98	29.90	27.23	-12.40	-31.27	-27.05
400	10.51	24.10	22.20	-10.14	-24.51	-23.59
300	8.64	18.60	16.89	-7.73	-18.19	-18.20



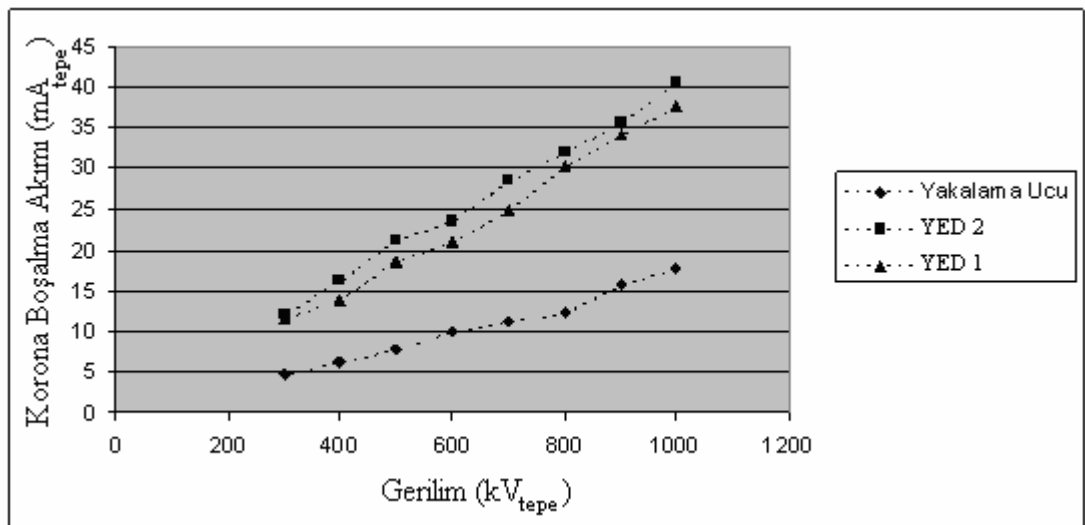
Şekil 4.12: 2 metre elektrot açıklığı için pozitif açma-kapama darbe gerilimlerinde korona boşalma akımlarının tepe değerlerinin değişimleri.



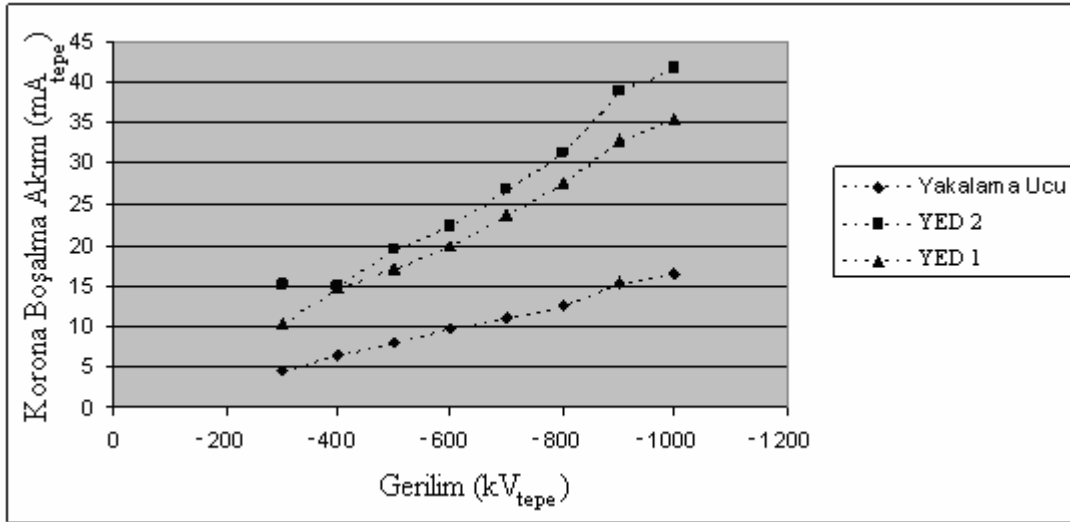
Şekil 4.13: 2 metre elektrot açıklığı için negatif açma-kapama darbe deney gerilimlerinde korona boşalma akımlarının tepe değerlerinin değişimleri.

Çizelge 4.4: 3 metre elektrot açıklığı için ölçülen korona boşalma akımının tepe değerleri [mA_{tepe}].

Atmosfer Basıncı: 1015 mBar			Ortam Sıcaklığı: 27,7°C		Bağıl Nem : %55	
Gerilim	Pozitif Darbe			Negatif Darbe		
[kV _{tepe}]	FYU	YED 2	YED 1	FYU	YED 2	YED 1
1000	17.65	40.75	37.71	-16.49	-41.76	-35.44
900	15.84	35.72	34.21	-15.34	-38.89	-32.94
800	12.40	32.08	30.22	-12.48	-31.40	-27.62
700	11.17	28.49	24.91	-11.00	-26.78	-23.83
600	10.01	23.52	21.07	-9.64	-22.26	-19.99
500	7.70	21.14	18.60	-8.01	-19.56	-17.15
400	6.37	16.33	13.77	-6.55	-14.99	-14.64
300	4.75	12.03	11.68	-4.56	-15.07	-10.44



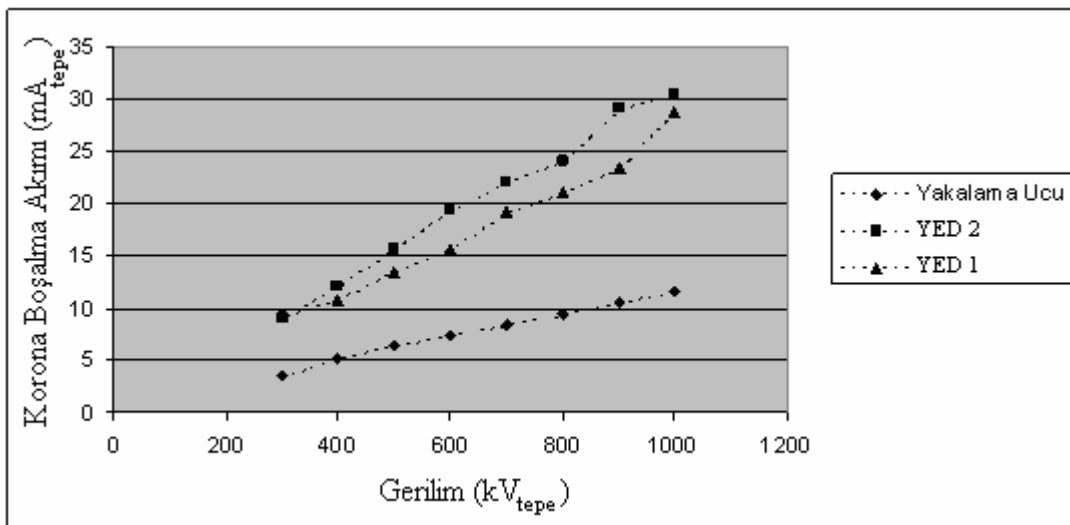
Şekil 4.14: 3 metre elektrot açıklığı için pozitif açma-kapama darbe deney gerilimlerinde korona boşalma akımlarının tepe değerlerinin değişimleri.



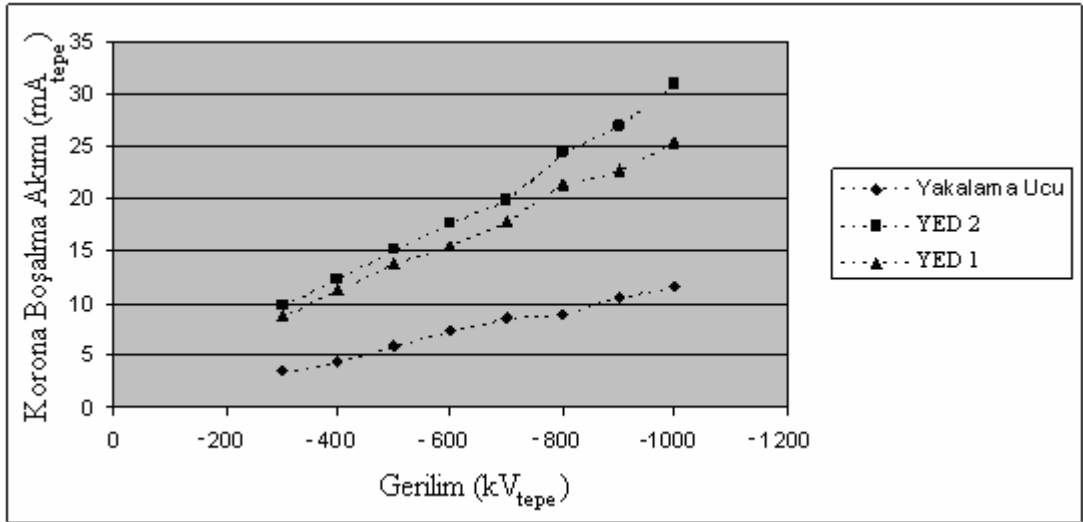
Şekil 4.15: 3 metre elektrot açıklığı için negatif açma-kapama darbe deney gerilimlerinde korona boşalma akımlarının tepe değerlerinin değişimleri.

Çizelge 4.5: 4 metre elektrot açıklığı için ölçülen korona boşalma akımının tepe değerleri [mA_{tepe}].

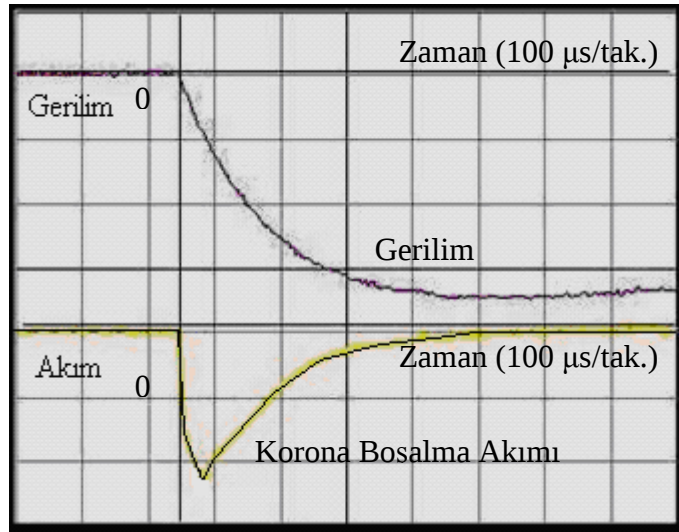
Atmosfer Basıncı: 1015 mBar			Ortam Sıcaklığı: 27,7°C		Bağıl Nem : %49	
Gerilim	Pozitif Darbe			Negatif Darbe		
[kV _{tepe}]	FYU	YED 2	YED 1	FYU	YED 2	YED 1
1000	11.66	30.40	28.79	-11.68	-30.95	-25.39
900	10.54	29.05	23.33	-10.68	-26.86	-22.79
800	9.42	24.13	21.07	-8.98	-24.42	-21.43
700	8.37	21.99	19.17	-8.65	-19.88	-17.84
600	7.44	19.35	15.70	-7.47	-17.60	-15.41
500	6.32	15.61	13.51	-5.93	-15.09	-13.78
400	5.14	12.04	10.81	-4.35	-12.21	-11.33
300	3.45	9.14	9.22	-3.60	-9.76	-8.82



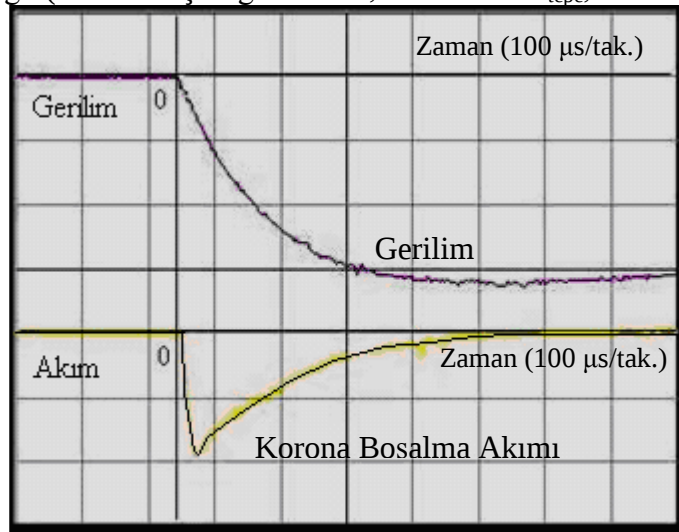
Şekil 4.16: 4 metre elektrot açıklığı için pozitif açma-kapama darbe deney gerilimlerinde korona boşalma akımlarının tepe değerlerinin değişimleri.



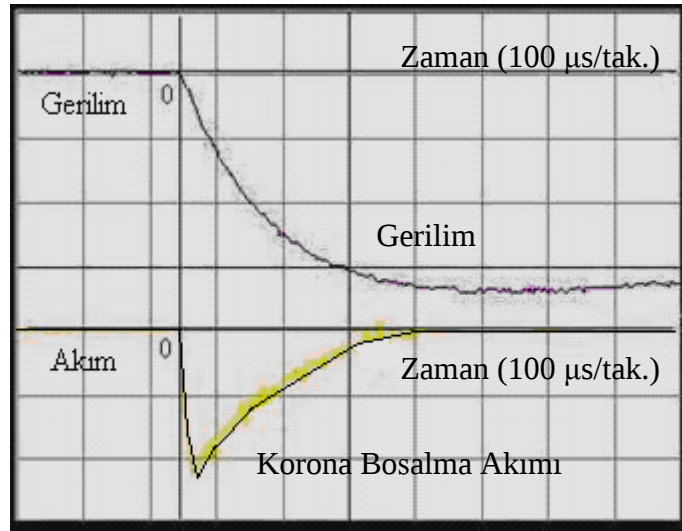
Şekil 4.17: 4 metre elektrot açıklığı için negatif açma-kapama darbe deney gerilimlerinde korona boşalma akımlarının tepe değerlerinin değişimleri.



Şekil 4.18: Franklin çubuğu için darbe deney gerilimi ve korona boşalma akımı örneği. (Elektrot açıklığı: $a = 3$ m, $U = -800$ kV_{tepe}, $I = -12,59$ mA_{tepe})



Şekil 4.19: YED 1 için darbe deney gerilimi ve korona boşalma akımı örneği. (Elektrot açıklığı: $a = 3$ m, $U = -800$ kV_{tepe}, $I = -27,20$ mA_{tepe})



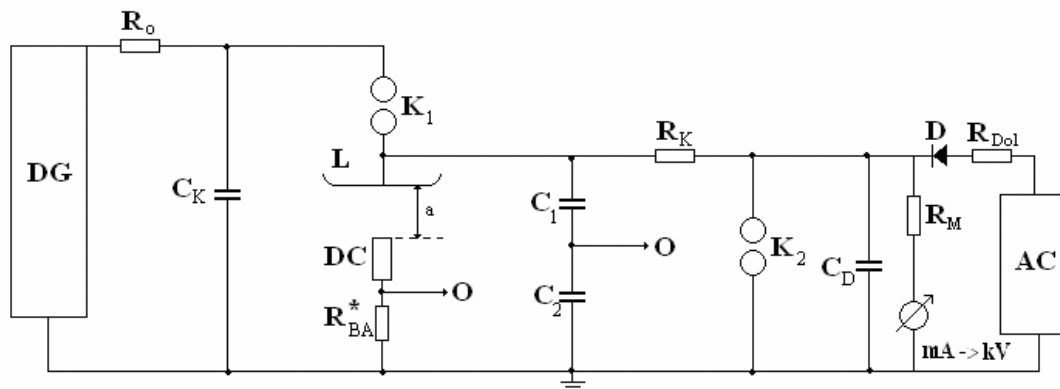
Şekil 4.20: YED 2 için darbe deney gerilimi ve korona boşalma akımı örneği.
(Elektrot açıklığı: $a = 3 \text{ m}$, $U = -800 \text{ kV}_{\text{tepe}}$, $I = -27,20 \text{ mA}_{\text{tepe}}$)

4.3 Doğru Gerilim Kutuplamalı Deneyler

Yukarıda belirtilen deneylerde sadece açma-kapama darbe deney gerilimlerine göre ölçmeler yapılmıştır. Fakat, yıldırım boşalması öncesinde ortamda kV/m mertebelerinde yüksek bir elektriksel alan mevcuttur. Koruma düzenlerinin etkinliklerini daha iyi gözlemlemek için söz konusu elektrik alanını deneylerde de göz önünde bulundurmak gerektiğinden, çalışmanın bu kısmında doğru gerilim kutuplamalı deneyler yapılmıştır.

4.3.1 Deney devresi

Şekil 4.21’de verilen deney düzeneğimiz, Şekil 4.1’de verilen düzeneğine, bir doğru gerilim kutuplama devresi eklenmiş halidir.



Şekil 4.21: Doğru gerilim kutuplamalı deneylerde kullanılan deney devresi.

Devredeki elemanlar ve özellikleri aşağıdaki gibidir.

DG : Darbe generatörü (3600 kV, 180 kJ, 18 katlı)

R_O : Ön direnç (30 kOhm)

C_K : Kuplaj kondansatörü (2.5 nF)

K_1 : Kesme küreleri (25cm çaplı, düşey düzende küresel elektrotlar)

L : Bulutu temsil etmek için kullanılan 5,0 m x 3,5 m alüminyum levha elektrot (10 mm kalınlık ve 15 cm çaplı kenar eğriliği)

a : Bulut-deney cismi arası uzaklık (elektrot açıklığı)

DC : Deney cismi (Franklin yakalama ucu, YED 1 veya YED 2)

C_1, C_2 : Kapsitif gerilim bölücü, Seri No:103400, Kalib. No/Tarih: G1YG-0044/03.04.2007

O : Ölçme düzenine, 150 kHz, çift kanallı dijital osiloskop, Seri No: E110498, Kalib. No: G1YG-0018, Kalib. Tar.: 03.04.2007

R_K : Koruma direnci

K_2 : Kesme küreleri (10 cm çaplı, yatay düzende küresel elektrotlar)

C_D : Doldurma kondansatörü (600 nF, $U_{CD} = -35$ kV)

D : Doğrultucu diyot

AC : Alternatif gerilim (0-100 kV, 50 Hz, 5 kVA yüksek gerilim deney transformatörü)

R_{Dol} : Doldurma direnci (500kOhm)

R_M , mA->kV: Doğru gerilim ölçme düzeni ($R_M = 140$ MOhm)

* R_{BA} : Korona boşalma akımını ölçmek için kullanılan direnç (375 Ohm) (* Sadece korona boşalma akımı deneylerinde kullanılmıştır.)

4.3.2 Doğru gerilim kutuplamalı durumda aynı elektrojeometrik koşullarda yakalama oranı deneyleri

Şekil 4.11'de verilen deney düzeneğinde, bulutu temsil eden 5 m * 3.5 m boyutlarındaki dikdörtgen levha elektrodun altına Şekil 4.8'deki gibi simetrik olarak yerleştirilen Franklin yakalama ucu, YED 1 ve YED 2, bulut 35 kV'luk negatif doğru gerilimle kutupluyken, üç sistemde de atlama oluşturacak büyüklükte 100 adet negatif kutbiyette 300/2500 μ s'lik açma-kapama darbe deney gerilimi (Şekil 4.4) uygulanmıştır. 2 m elektrot açıklığı için yapılan deneylere göre her bir düzene isabet eden yıldırım boşalmaları Çizelge 4.6'da verilmiştir.

Çizelge 4.6: Doğru gerilim kutuplamalı bulut durumunda, aynı elektrojeometrik koşullarda, 300/2500 μ s'lik açma-kapama darbe deney gerilimleri için yakalama oranları.

Yakalama Sistemi	Atlama Sayısı
	Açıklık [m] / Uygulanan Gerilim [kV_{tepe}]
	2 m / 1200 kV_{tepe}
Yıldırımlık	56
YED 2	44
YED 1	0

56/44 lük yakalama oranı, Çizelge 4.2'nin ilk sütununda, doğru gerilim kutuplamasız durumda, aynı elektrot açıklığı ve gerilim değeri için verilen 86/14 yakalama oranıyla karşılaştırıldığında, doğru gerilim kutuplama YED 1' in yakalama oranında bir azalma sağlamamıştır. Bu olumsuz sonuç üzerine diğer açıklık ve gerilimlerde deney yapılmamıştır.

4.3.3 Doğru gerilim kutuplamalı durumda korona boşalma akımı deneyleri

Şekil 4.11'de verilen deney düzeneğinde sadece doğru gerilim kısmı kullanılarak, Franklin yakalama ucu, YED 1 ve YED 2' nin üç farklı elektrot açıklığında (2 m, 3 m ve 4 m), 15 kV/m ' lik düzgün bir elektrik alanı oluşturacak şekilde doğru gerilimler uygulanarak, korona boşalma (emisyon) akımları ölçülmüştür. Korona boşalma akımları mikroamper (μA) mertebesinde ölçüldükten sonra bu değerlerin doğru gerilim kutuplamasız değerlere kıyasla ihmal edilebilir derecede olduğu gözlemlenmiştir.

Gerek aynı elektrojeometrik koşullarda yakalama oranı deneylerinde gerekse de korona boşalma akımı deneylerinde doğru gerilim kutuplamalı durumda ihmal edilebilir sonuçlar elde edildiğinden; doğru gerilim kutuplamalı durumda açma-kapama darbe deney gerilimleri için %50 atlama gerilimleri belirlenmemiştir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yıldırım ve yıldırıma karşı koruma konusunda birçok deneysel ve gözlemsel araştırma yapılmıştır. Yıldırımdan koruma sistemlerinin etkinliği hakkında herkesçe kabul edilebilecek kesin bir sonuca varılamadığından, bu sistemleri sürekli olarak geliştirip inceleme gereği duyulmuştur. Bu çalışmada, Franklin yakalama çubukları ve yıldırım engelleyici düzenekler için bazı deneyler gerçekleştirilmiş ve bu deney sonuçlarına göre söz konusu iki koruma düzeninin davranışı hakkında çıkarımlar yapılmıştır.

Yapılan çalışmaların sonuçları her deney için ayrı özetlenecek olursa:

- 1) % 50 açma-kapama darbe atlama gerilimi deney sonuçlarına göre; YED 1 için ölçülen % 50 açma-kapama darbe atlama gerilimleri, aynı elektrot açıklığında Franklin çubuğu için ölçülen değerlerden % 12 - % 25 daha yüksek çıkmıştır. YED 2 için ölçülen % 50 açma-kapama darbe atlama gerilim değerleri ise aynı elektrot açıklığında Franklin çubuğu için ölçülen değerlerden % 2 - %10 daha yüksek çıkmıştır.
- 2) Aynı elektroteometrik koşullarda, 300/2500 μ s'lik açma-kapama darbe deney gerilimleri için belirlenen yakalama oranları incelenecek olursa; uygulanan tüm darbe deney gerilimlerinde atlamalar YED 2 ve Franklin yakalama çubuğuna olmuştur. YED 1' e herhangi bir atlama olmamıştır. Meydana gelen atlamaların büyük bir bölümü Franklin yakalama çubuğuna olmuştur.
- 3) Korona boşalma akımı deney sonuçlarına göre:
 - YED 1 ve YED 2 için ölçülen korona boşalma akımları tüm elektrot açıklıkları ve tüm gerilimlerde Franklin yakalama ucu için ölçülen korona boşalma akımlarından daha yüksek çıkmıştır.
 - Pozitif ve negatif kutbiyetli darbeler için korona boşalma akımları arasında ciddi bir fark görülmemiştir.

- Korona boşalma akımı, elektrik alan şiddetine bağlıdır ve dolayısıyla aynı deney gerilimi için küçük elektrot açıklıklarında daha yüksek korona boşalma akımı söz konusu olmuştur.
 - Pozitif ve negatif darbe deney gerilimleri için korona boşalma akımlarının tepe değerlerini aldığı süreler YED 1 için sırasıyla 20 – 24 μ s, 18 – 28 μ s, YED 2 için sırasıyla 20 – 24 μ s, 18 – 28 μ s ve Franklin çubuğu için sırasıyla 20 – 26 μ s, 18 – 26 μ s mertebesinde ölçülmüştür. Pozitif darbelerde ölçülen bu süreler arasındaki sapmaların daha küçük olduğu gözlenmiştir.
- 4) Doğru gerilim kutuplamalı durumda, aynı elektrojeometrik koşullarda yakalama oranı deney sonuçlarına göre ise uygulanan tüm darbe deney gerilimlerinde atlamalar YED 2 ve Franklin yakalama çubuğuna olmuştur. YED 1 korunma biriminde herhangi bir atlama olmamıştır. Franklin yakalama çubuğu ve YED 2 için meydana gelen atlama sayıları oldukça yakın çıkmıştır.
- 5) Doğru gerilim kutuplamalı durumda korona boşalma akımı deneylerinde, deney devresinin sadece doğru gerilim kısmı ile yapılan ölçümlerde elde edilen korona boşalma akımları mikroamper (μ A) mertebesinde olduğundan, bu değerlerin açma-kapama darbe geriliminde ölçülen değerlere kıyasla ihmal edilebilir derecede olduğu gözlemlenmiştir. Bu nedenle doğru gerilim kutuplamalı ölçümlerin korona boşalma akımlarına ciddi bir etkisi olmadığı söylenebilir.

Elde edilen deney sonuçlarına göre, Franklin yakalama ucunun, aynı koşullardaki çok noktadan boşalmalı yıldırıma karşı koruma düzeni YED 1' e göre % 50 darbe atlama gerilimi daha düşük olduğundan yıldırım boşalmalarını yakalama olasılığı daha yüksektir. Doğru gerilim kutuplamalı veya kutuplamasız durumda aynı elektrojeometrik koşullarda yakalama oranı deneylerinin sonuçları da, Franklin yakalama ucunun yıldırım boşalmalarını yakalama olasılığının daha yüksek olduğunu desteklemektedir.

Franklin yakalama ucunun, aynı koşullarda çok noktadan boşalmalı yıldırıma karşı koruma düzeni YED 2' ye göre yıldırım boşalmalarını yakalama performansı açısından daha iyi olduğunu söylemek mümkün değildir. YED 2 ve Franklin yakalama çubuğunun % 50 darbe atlama gerilimi arasında, denenen açıklıklar için, belirgin bir fark oluşmamıştır. Bununla beraber doğru gerilim kutuplamalı ve

kutuplamasız durumlarda aynı elektrojeometrik koşullarda yakalama oranı deneylerinin sonuçları da YED 2' nin Franklin yakalama çubuğuna yakın bir yakalama performansı olduğunu göstermiştir.

YED 1 ve YED 2 düzenlerinin korona boşalma akımı deneylerinde birbirlerine oldukça yakın sonuçlar vermesine karşın, %50 darbe atlama gerilimleri arasındaki farklılık, korona boşalma akımının yıldırımdan koruma sistemlerinin etkinliğini belirlemede tek başına iyi bir gösterge olmadığını göstermektedir. Bir başka deyişle, çok noktadan boşalmalı koruma sistemlerinin yüksek korona boşalma akımları nedeniyle yıldırımın düşmesini engellediği savı doğru değildir.

Benzer şekilde; YED 1 ve YED 2 düzenlerinin korona boşalma akımı deneylerinde birbirlerine oldukça yakın sonuçlar vermesine karşın, %50 darbe atlama gerilimleri ve aynı elektrojeometrik ortamda yakalama oranları arasında belirgin sayılabilecek bir fark oluşması da düzenlerin (iddia edilen) çalışma ilkesi açısından çelişkili bir durum oluşturmuştur. Aynı fiziksel kurallardan yola çıkarak tasarlanan bu düzenler farklı sonuçlar verdiği için, YED'in henüz yeteri kadar güvenilir olmadığı düşünülebilir. Bunun başlıca nedeni YED' in tasarımı, işletmeye konması v.b. gibi özelliklerinin bir standart çerçevesinde yapılmıyor olmasıdır.

Ayrıca, yıldırım engelleyici düzenekleri Franklin yakalama çubuklarıyla kıyaslamak, iki koruma sisteminin farklı amaçlara hizmet etmesinden dolayı, zor bir iştir. Yıldırımlıklar yıldırımı toplayan sistemler, YED ise yıldırım oluşumunu engellediği iddia edilen sistemlerdir. Literatürde bu sistemler üzerinde yapılan diğer deney ve gözlemler incelendiğinde de, bu çalışmada olduğu gibi, YED' in yıldırımı engellediği bir sonuç ortaya çıkmamıştır. Ancak bir çalışmada, deneylerden elde edilen sonuçlardan yola çıkılarak YED' in yıldırımlıklardan daha etkin koruma yapabileceği belirtilmiştir [23].

Uygun tasarlanmış bir YED ve Franklin yakalama ucunu birlikte kullanarak yıldırım düşmesi istenmeyen bölgenin daha etkin bir şekilde korunması sağlanabilir. Korunacak bölgeye yerleştirilecek bir YED ile yıldırımın korunan bölge içine düşme olasılığı azaltılırken, bölge çevresine yerleştirilecek Franklin yakalama uçları sayesinde yıldırımın bu bölgeye düşme riski daha da azaltılabilir.

Bu çalışmadaki deneysel incelemelerde kullanılan düzenlerin mümkün olduğu kadar uygun şekilde modellenmesine önem verilmiştir. Ancak gerçek bir yıldırım olayının

tam olarak modellenmesi laboratuvar koşullarında mümkün değildir. Yıldırım olayının istatistiksel bir olay olduğu da düşünölürse, yıldırımdan koruma düzenleri hakkındaki tüm teorik ve laboratuvar çalışmalarının yanında saha gözlemleri de yapılmalıdır. Bu yönde yapılacak çalışmalar ile gerçek yıldırım boşalmalarının da incelenmesi sonucu yıldırıma karşı koruma hakkındaki farklı görüş ve uygulamalar da açıklığa kavuşabilir.

KAYNAKLAR

- [1] **Braunstein, A.**, Lightning Protection Systems, Tel-Aviv, 1990.
- [2] **Tobias, J.M.**, The basis of conventional lightning protection systems, IEEE Transactions on Industry Applications, Volume 40, No. 4, July-Aug. 2004, pp. 958 – 962.
- [3] **Emre, Ş.**, Yıldırım boşalmaları ve etkinlik bölgelerinin incelenmesi, İTÜ Fen Bil. Enst., Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 1992.
- [4] **Khalifa, K.**, High-Voltage Engineering, Theort and Practice, Marcel Dekker, Inc., New York, 1990.
- [5] **Uman, M.A.**, Natural lightning, IEEE Transactions on Industry Applications, Volume 30, No. 3, May-June 1994, pp. 785 – 790.
- [6] **Zipse, D.W.**, Lightning protection systems: advantages and disadvantages Petroleum and Chemical Industry Conference, Record of Conference Papers. The Institute of Electrical and Electronics Engineers Incorporated. Industry Applications Society 40th Annual 13-15 Sept. 1993, pp.51 - 64.
- [7] **NF C 17-102**, Erken streamer emisyon hava terminalleri kullanılarak yapıların ve açık alanların yıldırıma karşı korunması, Fransız Standardı, Temmuz, 1995.
- [8] **Briet, R.**, Time domain modeling of catenary lightning protection systems: how to design effective lightning protection systems , IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility (EMC), 2001.
- [9] **TS IEC 61024-1**, Yapıların Yıldırımdan Koruması - Bölüm 1: Genel Prensipler, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [10] **Rison, W., Moore, C.B., Aulich, G.D.**, Lightning air terminals - is shape important? International Symposium on Electromagnetic Compatibility, 2004. Volume 1, 9–13 Aug. 2004, pp. 300 – 305.
- [11] **Van Brunt, R.J., Nelson, T.L., Stricklett, K.L.**, Early streamer emission lightning protection systems: An overview. IEEE Electrical Insulation Magazine, Volume 16, No. 1, Jan.-Feb. 2000, pp. 5 – 24.
- [12] **Rison, W.**, Experimental validation of conventional and nonconventional lightning protection systems, IEEE Power Engineering Society General Meeting, 2003. Volume 4, 13-17 July 2003, pp. 2195-2200.
- [13] **Bent, R.B., Llewellyn, S.K.** (1977), An Investigation of the Lightning Elimination and Strike Reduction Properties of Dissipation Arrays. pp. 149-241 of Hughes, J. (Editor), Review of Lightning Protection

Technology for Tall Structures, Publication No. AD-A075 449, Office of Naval Research, Arlington, Virginia.

- [14] **Mousa, A.M.**, The applicability of lightning elimination devices to substations and power lines IEEE Transactions on Power Delivery, Volume 13, No. 4, Oct. 1998, pp. 1120 – 1127.
- [15] **Drabkin, M.M., Carpenter, R.B., Jr.**, Advances in lightning protection and grounding systems for power systems, Rural Electric Power Conference, 2004, 23-25 May 2004, pp. A3 - 1-4.
- [16] **Chai, J.C., Britting, A.O., Jr.**, Does an overhead lightning protection system protect structures against nearby strikes?, 1997 International Symposium on Electromagnetic Compatibility Proceedings, 21-23 May 1997, pp. 480 – 483.
- [17] **Carpenter, R.B., Jr., Drabkin, M.M.**, Protection against direct lightning strokes by Charge Transfer System, 1998 IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility, 1998. Volume 2, 24-28 Aug. 1998, pp. 1094 - 1097.
- [18] **Allen, N.L., Evans, J.C.**, New investigations of the 'early streamer emission' principle, IEE Proceedings - Science, Measurement and Technology, Volume 147, Issue 5, Sept. 2000, pp. 243 - 248.
- [19] **Kimber, T.**, Effective lightning protection, Seventh International Conference on Electromagnetic Compatibility, 1990. Seventh International Conference on 28-31 Aug 1990, pp. 287 - 293.
- [20] **Briet, R.**, Why NFPA 780, Standard for the Installation of Lightning Protection Systems is inadequate. 2001 IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility, 2001. Volume 2, 13-17 Aug. 2001, pp. 786 – 788.
- [21] **N.L.Allen, K. J. Cornick, D.C. Faircloth, C.M.Kouzis**, Tests of the 'early streamer emission' principle for protection against lightning, IEE Proc -Sci Meas Technol., Vol. 145, No. 5, September 1998, pp. 200–206.
- [22] **Zipse, D.W.**, Lightning protection methods: an update and a discredited system vindicated, IEEE Transactions on Industry Applications, Volume 37, No. 2, March-April 2001, pp. 407 – 414.
- [23] **Lee, J.B., Myung, S.H., Cho, Y.G., Chang, S.H., Kim, J.S., Kil, G.S.**, Experimental study on lightning protection performance of air terminals, International Conference on Power System Technology, 2002. Proceedings. PowerCon 2002. Volume 4, 13-17 Oct. 2002, pp. 2222 - 2226.

EKLER

EK A: %50 açma-kapama darbe atlama gerilimi deney sonuçları.
EK B: Korona boşalma akımları deney sonuçları.

EK A

*Gerilim değerleri standart referans ortam koşullarına göre normalize edilmiştir.

Çizelge A.1: Yıldırımlik için 2m. elektrot açıklığında %50 atlama gerilimi deney sonuçları.

Atlama	Zaman(μ s)	V
1	90	838577
2	100	809989
3	110	809989
4	110	800460
5	110	800460
6	140	829048
7	190	867165
8	*	848106
9	*	848106
10	*	838577
11	*	857636
12	*	876694
13	200	829048
14	*	914811
15	180	819518
16	180	819518
17	*	867165
18	*	876694
19	260	886223
20	*	905282
21	150	771872
22	170	819518
23	*	924341
24	210	867165
25		867165
U (%50)		838577

Sıcaklık= 24°C
Bağıl Nem= %51,4
Basınç=1010mb

* : Deneyi yapılan yıldırımdan koruma sistemine bir atlama gerçekleşmemiştir.

Zaman : Deneyi yapılan yıldırımdan koruma sisteminin darbeyi kesme zamanı.

V : Deney geriliminin tepe değeri. (Osiloskop gerilimi x gerilim bölücü çevirme oranı)

Çizelge A.2: YED 1 için 2m. elektrot açıklığında %50 atlama gerilimi deney sonuçları.

	Atlama	Zaman(μ s)	V
1	*		1014591
2	*		995627
3	*		1024073
4		210	891323
5		170	1024073
6	*		1156823
7	*		1156823
8		170	1052520
9	*		1166305
10		140	976662
11	*		1204234
12		150	1043037
13	*		1251645
14		100	1043037
15		100	938734
16		140	957698
17		160	976662
18	*		995627
19	*		1014591
20	*		1024073
21	*		1109413
22		180	1024073
23		140	910287
24	*		1052520
25	*		1062002
U(%50)			1035926

Sıcaklık= 24°C
Bağıl Nem= %51.4
Basınç= 1010mb

* : Deneyi yapılan yıldırımdan koruma sistemine bir atlama gerçekleşmemiştir.
Zaman : Deneyi yapılan yıldırımdan koruma sisteminin darbeyi kesme zamanı.
V : Deney geriliminin tepe değeri. (Osiloskop gerilimi x gerilim bölücü çevirme oranı)

Çizelge A.3: YED 2 için 2m. elektrot açıklığında %50 atlama gerilimi deney sonuçları.

Atlama	Zaman(μ s)	V
1	170	894929
2	160	894929
3	150	875888
4	*	933012
5	190	866368
6	*	923491
7	*	933012
8	160	894929
9	*	933012
10	*	923491
11	140	875888
12	*	942532
13	*	961573
14	*	904450
15	*	942532
16	*	923491
17	200	942532
18	140	875888
19	180	913971
20	220	952053
21	150	866368
22	170	894929
23	*	933012
24	*	942532
25	*	942532
U(%50)		914447

Sıcaklık= 23,8 °C
Bağıl Nem= % 56,1
Basınç= 1015mb

- * : Deneyi yapılan yıldırımdan koruma sistemine bir atlama gerçekleşmemiştir.
Zaman : Deneyi yapılan yıldırımdan koruma sisteminin darbeyi kesme zamanı.
V : Deney geriliminin tepe değeri. (Osiloskop gerilimi x gerilim bölücü çevirme oranı)

Çizelge A.4: Yıldırımılık için 3m. elektrot açıklığında %50 atlama gerilimi deney sonuçları.

	Atlama	Zaman(μ s)	V
1	*		1373071
2	*		1382741
3	*		1411749
4		150	1266706
5		240	1411749
6		250	1431088
7		330	1431088
8		270	1421419
9	*		1392410
10	*		1402080
11	*		1421419
12		260	1373071
13	*		1392410
14	*		1402080
15		170	1266706
16		210	1324723
17		170	1286045
18		230	1373071
19		230	1353732
20		210	1353732
21	*		1353732
22	*		1344062
23	*		1440758
24		210	1373071
25		150	1286045
U (%50)			1370309

Sıcaklık= 23,8 °C
Bağıl Nem=%56,1
Basınç= 1015mb

- * : Deneyi yapılan yıldırımdan koruma sistemine bir atlama gerçekleşmemiştir.
Zaman : Deneyi yapılan yıldırımdan koruma sisteminin darbeyi kesme zamanı.
V : Deney geriliminin tepe değeri. (Osiloskop gerilimi x gerilim bölücü çevirme oranı)

Çizelge A.5: YED 1 için 3m. elektrot açıklığında %50 atlama gerilimi deney sonuçları.

	Atlama	Zaman(μ s)	V
1		220	1414757
2	*		1491750
3	*		1520623
4	*		1549495
5	*		1549495
6	*		1607241
7	*		1636113
8	*		1674610
9		190	1539871
10		180	1520623
11		160	1482126
12	*		1636113
13		180	1549495
14		120	1414757
15		160	1539871
16		150	1491750
17	*		1664986
18		150	1520623
19		170	1568744
20	*		1722731
21		170	1568744
22		160	1568744
23		320	1770852
24	*		1770852
25	*		1804537
U (%50)			1559120

Sıcaklık= 23,8 °C
Bağıl Nem= % 56,1
Basınç= 1015mb

- * : Deneyi yapılan yıldırımdan koruma sistemine bir atlama gerçekleşmemiştir.
Zaman : Deneyi yapılan yıldırımdan koruma sisteminin darbeyi kesme zamanı.
V : Deney geriliminin tepe değeri. (Osiloskop gerilimi x gerilim bölücü çevirme oranı)

Çizelge A.6: YED 2 için 3m. elektrot açıklığında %50 atlama gerilimi deney sonuçları.

	Atlama	Zaman(μ s)	V
1	*		1539643
2	*		1510593
3		220	1471860
4	*		1549327
5		180	1442810
6		190	1442810
7		160	1355661
8	*		1355661
9		180	1394394
10		200	1423444
11		310	1423444
12	*		1384711
13	*		1394394
14		270	1365344
15		230	1365344
16		210	1355661
17		220	1345978
18		200	1442810
19	*		1345978
20	*		1375027
21	*		1384711
22	*		1394394
23	*		1442810
24		170	1336294
25	*		1471860
U (%50)			1400204

Sıcaklık= 23,8 °C
Bağıl Nem= % 56,1
Basınç= 1015mb

* : Deneyi yapılan yıldırımdan koruma sistemine bir atlama gerçekleşmemiştir.
Zaman : Deneyi yapılan yıldırımdan koruma sisteminin darbeyi kesme zamanı.
V : Deney geriliminin tepe değeri. (Osiloskop gerilimi x gerilim bölücü çevirme oranı)

Çizelge A.7: Yıldırımlik için 3.5m. elektrot açıklığında %50 atlama gerilimi deney sonuçları.

Atlama	Zaman (μs)	V	Sıcaklık= 24.2 °C Bağıl Nem= %42.2 Basınç= 1020mb
1	220	1674833	
2	240	1674833	
3	230	1656015	
4	*	1637196	
5	*	1637196	
6	*	1656015	
7	*	1674833	
8	*	1693651	
9	200	1618378	
10	*	1693651	
11	*	1712470	
12	220	1637196	
13	*	1712470	
14	220	1656015	
15	320	1712470	
16	*	1674833	
17	*	1712470	
18	160	1618378	
19	*	1693651	
20	*	1712470	
21	120	1561923	
22	*	1750106	
23	180	1599560	
24	150	1505468	
25	210	1637196	
26	170	1561923	
27	150	1524286	
U (%50)		1659151	

* : Deneyi yapılan yıldırımdan koruma sistemine bir atlama gerçekleşmemiştir.
Zaman : Deneyi yapılan yıldırımdan koruma sisteminin darbeyi kesme zamanı.
V : Deney geriliminin tepe değeri. (Osiloskop gerilimi x gerilim bölücü çevirme oranı)

Çizelge A.8: YED 1 için 3.5m. elektrot açıklığında %50 atlama gerilimi deney sonuçları.

Atlama	Zaman(μ s)	V
1	230	1677062
2	*	1695905
3	*	1695905
4	*	1733592
5	*	1752436
6	*	1752436
7	*	1733592
8	*	1790122
9	*	1790122
10	170	1733592
11	*	1846653
12	170	1771279
13	*	1846653
14	*	1865496
15	130	1695905
16	150	1752436
17	150	1771279
18	190	1752436
19	140	1695905
20	200	1752436
21	*	1865496
22	*	1884339
U (%50)		1764684

Sıcaklık= 24.2 °C
Bağıl Nem= %42.2
Basınç= 1020mb

- * : Deneyi yapılan yıldırımdan koruma sistemine bir atlama gerçekleşmemiştir.
Zaman : Deneyi yapılan yıldırımdan koruma sisteminin darbeyi kesme zamanı.
V : Deney geriliminin tepe değeri. (Osiloskop gerilimi x gerilim bölücü çevirme oranı)

Çizelge A.9: YED 2 için 3.5m. elektrot açıklığında %50 atlama gerilimi deney sonuçları.

Atlama	Zaman(μ s)	V
1	250	1690661
2	160	1634306
3	260	1690661
4	220	1671876
5	260	1690661
6	*	1653091
7	*	1653091
8	*	1671876
9	*	1690661
10	*	1690661
11	200	1671876
12	*	1728232
13	160	1577951
14	*	1690661
15	190	1634306
16	260	1709447
17	*	1690661
18	230	1653091
19	*	1690661
20	200	1634306
21	*	1709447
22	*	1709447
23	240	1690661
24	*	1690661
25	220	1634306
26	*	1709447
27	230	1634306
U (%50)		1675633

Sıcaklık= 24.2 °C
Bağıl Nem= %42.2
Basınç= 1020mb

- * : Deneyi yapılan yıldırımdan koruma sistemine bir atlama gerçekleşmemiştir.
Zaman : Deneyi yapılan yıldırımdan koruma sisteminin darbeyi kesme zamanı.
V : Deney geriliminin tepe değeri. (Osiloskop gerilimi x gerilim bölücü çevirme oranı)

Çizelge A.10: Yıldırımılık için 4m. elektrot açıklığında %50 atlama gerilimi deney sonuçları.

Atlama	Zaman(μ s)	V
1	*	1839957
2	*	1858925
3	*	1877894
4	*	1858925
5	*	1877894
6	*	1896863
7	*	1896863
8	*	1915831
9	210	1858925
10	*	1915831
11	*	1896863
12	*	1953768
13	*	1915831
14	200	1915831
15	*	1858925
16	*	1896863
17	220	1858925
18	*	1877894
19	*	1839957
20	*	1839957
21	*	1802019
22	*	1858925
23	*	1839957
24	*	1858925
25	*	1858925
U (%50)		1874595

Sıcaklık= 23,8 °C
Bağıl Nem= % 48,1
Basınç= 1016mb

- * : Deneyi yapılan yıldırımdan koruma sistemine bir atlama gerçekleşmemiştir.
Zaman : Deneyi yapılan yıldırımdan koruma sisteminin darbeyi kesme zamanı.
V : Deney geriliminin tepe değeri. (Osiloskop gerilimi x gerilim bölücü çevirme oranı)

Çizelge A.11: YED 1 için 4m. elektrot açıklığında %50 atlama gerilimi deney sonuçları.

Atlama	Zaman(μ s)	V
1	*	1780891
2	*	2008238
3	*	2008238
4	*	2027184
5	*	2027184
6	*	2046130
7	*	2084021
8	*	1894564
9	140	2008238
10	*	2102966
11	*	2102966
12	*	2121912
13	140	2008238
14	*	2102966
15	*	2121912
16	*	2121912
17	*	2140858
18	*	2140858
19	*	2178749
20	*	2178749
21	160	2046130
22	*	2197695
23	*	2235586
24	*	2046130
25	*	2197695
26	*	2273477
27	130	2102966
28	130	2084021
29	140	2102966
30	*	2235586
U (%50)		2102966

Sıcaklık= 23,8 °C
Bağıl Nem= %48,1
Basınç= 1016mb

- * : Deneyi yapılan yıldırımdan koruma sistemine bir atlama gerçekleşmemiştir.
Zaman : Deneyi yapılan yıldırımdan koruma sisteminin darbeyi kesme zamanı.
V : Deney geriliminin tepe değeri. (Osiloskop gerilimi x gerilim bölücü çevirme oranı)

Çizelge A.12: YED 2 için 4m. elektrot açıklığında %50 atlama gerilimi deney sonuçları.

Atlama	Zaman(μs)	V
1	130	1970996
2	120	1970996
3	150	1933092
4	120	1952044
5	120	1970996
6	120	1952044
7	160	1933092
8	160	1914140
9	190	1857284
10	160	1876236
11	200	1914140
12	*	1970996
13	140	1838332
14	160	1876236
15	*	1933092
16	180	1781477
17	*	1933092
18	*	1914140
19	*	1914140
20	200	1876236
21	*	1933092
22	240	1857284
23	*	1914140
24	*	1876236
25	190	1895188
U (%50)		1915719

Sıcaklık= 23,8 °C
Bağıl Nem= %48,1
Basınç= 1016mb

* : Deneyi yapılan yıldırımdan koruma sistemine bir atlama gerçekleşmemiştir.
Zaman : Deneyi yapılan yıldırımdan koruma sisteminin darbeyi kesme zamanı.
V : Deney geriliminin tepe değeri. (Osiloskop gerilimi x gerilim bölücü çevirme oranı)

EK B

* Gerilim ve akım değerleri standart referans ortam koşullarına göre normalize edilmiştir.

Çizelge B.1: Yıldırımılık için 2m. elektrot açıklığında korona boşalma akımları deney sonuçları.

Gerilim Seviyesi (kV _{tepe})	Gerilim (kV _{tepe})	Akım (mA _{tepe})	Gerilim Seviyesi (kV _{tepe})	Gerilim (kV _{tepe})	Akım (mA _{tepe})
800	801,36	21,54	-800	-811,01	-19,93
	801,36	19,93		-820,67	-20,47
	811,01	19,93		-820,67	-19,93
700	685,50	16,69	-700	-714,46	-17,24
	695,15	17,24		-704,81	-17,24
	685,50	16,69		-704,81	-17,24
600	627,57	16,16	-600	-627,57	-16,16
	588,95	15,08		-579,29	-14,54
	588,95	14,54		-579,29	-14,54
500	511,71	12,93	-500	-492,40	-11,85
	511,71	13,46		-492,40	-11,85
	511,71	13,46		-492,40	-12,93
400	395,85	10,78	-400	-386,20	-10,23
	386,20	9,70		-395,85	-10,23
	386,20	10,23		-386,20	-9,16
300	308,96	8,61	-300	-299,30	-7,54
	299,30	8,61		-289,65	-7,54
	289,65	8,61		-289,65	-7,54

Sıcaklık= 27,6°C

Bağıl Nem= %53,3

Basınc= 1015mb

Çizelge B.2: YED 1 için 2m. elektrot açıklığında korona boşalma akımları deney sonuçları.

Gerilim Seviyesi (kV _{tepe})	Gerilim (kV _{tepe})	Akım (mA _{tepe})	Gerilim Seviyesi (kV _{tepe})	Gerilim (kV _{tepe})	Akım (mA _{tepe})
800	805,28	44,93	-800	-814,87	-43,85
	805,28	46,00		-814,87	-43,85
	795,69	43,85		-814,87	-43,85
700	699,83	37,43	-700	-738,17	-42,79
	699,83	38,51		-747,76	-41,72
	699,83	38,51		-747,76	-40,64
600	613,55	34,23	-600	-603,96	-31,02
	613,55	35,30		-603,96	-33,16
	613,55	34,23		-603,96	-33,16
500	536,85	27,81	-500	-527,27	-28,88
	517,68	28,88		-527,27	-27,81
	517,68	28,88		-527,27	-28,88
400	440,99	22,46	-400	-393,05	-23,54
	412,23	23,54		-393,05	-22,46
	402,64	23,54		-393,05	-23,54
300	335,53	18,18	-300	-287,60	-18,18
	335,53	19,25		-297,19	-17,12
	335,53	19,25		-297,19	-18,18

Çizelge B.3: YED 2 için 2m. elektrot açıklığında korona boşalma akımları deney sonuçları.

Gerilim Seviyesi (kV _{tepe})	Gerilim (kV _{tepe})	Akım (mA _{tepe})	Gerilim Seviyesi (kV _{tepe})	Gerilim (kV _{tepe})	Akım (mA _{tepe})
800	793,94	48,61	-800	-822,99	-49,70
	803,62	48,61		-822,99	-50,77
	803,62	49,70		-813,30	-48,61
700	687,44	39,97	-700	-706,80	-41,05
	687,44	41,05		-697,12	-41,05
	697,12	42,13		-706,80	-41,05
600	619,66	37,81	-600	-590,61	-36,73
	619,66	37,81		-590,61	-36,73
	619,66	38,89		-590,61	-37,81
500	493,79	29,17	-500	-503,47	-31,33
	493,79	30,25		-503,47	-31,33
	493,79	29,17		-513,16	-32,41
400	387,29	22,69	-400	-396,97	-23,77
	406,65	24,84		-396,97	-24,84
	406,65	24,84		-387,29	-23,77
300	319,51	20,53	-300	-290,47	-17,29
	319,51	19,45		-300,15	-18,36
	319,51	19,45		-300,15	-18,36

Sıcaklık= 27,6°C Bağıl Nem= %53,3 Basınç= 1015mb

Çizelge B.4: Yıldırımılık için 3m. elektrot açıklığında korona boşalma akımları deney sonuçları.

Gerilim Seviyesi (kV _{tepe})	Gerilim (kV _{tepe})	Akım (mA _{tepe})	Gerilim Seviyesi (kV _{tepe})	Gerilim (kV _{tepe})	Akım (mA _{tepe})
1000	1017,18	17,46	-1000	-1036,74	-16,91
	1036,74	18,55		-1036,74	-17,46
	1036,74	18,55		-1036,74	-16,91
900	919,37	16,37	-900	-938,93	-16,37
	919,37	15,27		-938,93	-15,83
	919,37	16,91		-938,93	-15,83
800	811,79	12,66	-800	-831,35	-13,31
	811,79	12,44		-831,35	-12,88
	811,79	12,66		-841,13	-12,88
700	694,42	10,92	-700	-713,98	-11,13
	694,42	11,13		-713,98	-11,35
	704,20	11,35		-723,76	-11,35
600	625,96	10,69	-600	-635,74	-10,26
	635,74	10,48		-635,74	-10,26
	635,74	10,48		-645,52	-10,26
500	528,15	7,86	-500	-508,59	-8,30
	508,59	7,86		-508,59	-8,07
	508,59	8,07		-508,59	-8,07
400	381,44	5,68	-400	-381,44	-5,78
	410,78	6,76		-410,78	-6,76
	410,78	6,76		-410,78	-7,20
300	303,20	5,02	-300	-342,32	-5,45
	303,20	4,58		-342,32	-5,13
	303,20	4,80		-342,32	-5,02

Sıcaklık= 27,7°C Bağıl Nem= %54,6 Basınç= 1015mb

Çizelge B.5: YED 1 için 3m. elektrot açıklığında korona boşalma akımları deney sonuçları.

Gerilim Seviyesi (kV _{tepe})	Gerilim (kV _{tepe})	Akım (mA _{tepe})	Gerilim Seviyesi (kV _{tepe})	Gerilim (kV _{tepe})	Akım (mA _{tepe})
1000	1045,75	38,89	-1000	-1026,38	-35,65
	1045,75	39,98		-1026,38	-36,74
	1045,75	39,43		-1026,38	-36,74
900	890,82	34,57	-900	-910,19	-33,49
	890,82	33,49		-910,19	-33,49
	910,19	35,65		-910,19	-32,95
800	813,36	30,79	-800	-784,31	-27,01
	823,04	31,33		-793,99	-27,55
	823,04	30,79		-784,31	-27,01
700	726,21	25,93	-700	-697,16	-23,77
	706,85	25,39		-706,85	-23,77
	706,85	24,85		-706,85	-24,31
600	610,02	21,60	-600	-629,38	-20,53
	610,02	21,60		-610,02	-20,53
	610,02	21,07		-610,02	-20,53
500	522,87	19,45	-500	-522,87	-17,83
	513,19	18,91		-513,19	-17,83
	503,51	18,91		-522,87	-17,83
400	406,68	13,50	-400	-397,00	-14,59
	416,36	14,59		-387,31	-14,05
	416,36	14,59		-397,00	-14,59
300	309,85	11,88	-300	-300,17	-10,26
	309,85	12,43		-300,17	-10,26
	309,85	11,88		-300,17	-10,81

Sıcaklık= 27,7°C Bağıl Nem= %54,6 Basınç= 1015mb

Çizelge B.6: YED 2 için 3m. elektrot açıklığında korona boşalma akımları deney sonuçları.

Gerilim Seviyesi (kV _{tepe})	Gerilim (kV _{tepe})	Akım (mA _{tepe})	Gerilim Seviyesi (kV _{tepe})	Gerilim (kV _{tepe})	Akım (mA _{tepe})
1000	980,85	39,94	-1000	-1020,08	-43,78
	1020,08	41,04		-1020,08	-42,68
	1020,08	42,14		-1039,70	-42,14
900	941,61	36,11	-900	-922,00	-39,94
	922,00	37,21		-922,00	-39,94
	922,00	37,21		-941,61	-40,50
800	833,72	33,38	-800	-823,91	-31,19
	833,72	33,38		-823,91	-32,29
	843,53	33,93		-833,72	-33,93
700	716,02	29,00	-700	-745,45	-28,45
	716,02	29,00		-735,64	-28,45
	706,21	29,00		-735,64	-27,91
600	598,32	22,98	-600	-598,32	-22,44
	608,13	24,08		-617,93	-22,44
	608,13	24,08		-627,74	-23,53
500	519,85	21,88	-500	-539,47	-20,80
	529,66	22,44		-539,47	-21,34
	529,66	22,44		-529,66	-20,80
400	402,15	16,96	-400	-411,96	-15,32
	402,15	16,42		-421,77	-15,87
	402,15	15,87		-421,77	-15,87
300	313,87	12,59	-300	-304,06	-11,49
	313,87	12,59		-304,06	-12,03
	313,87	12,59		-304,06	-12,03

Sıcaklık= 27,7°C Bağıl Nem= %54,6 Basınç= 1015mb

Çizelge B.7: Yıldırımılık için 4m. elektrot açıklığında korona boşalma akımları deney sonuçları.

Gerilim Seviyesi (kV _{tepe})	Gerilim (kV _{tepe})	Akım (mA _{tepe})	Gerilim Seviyesi (kV _{tepe})	Gerilim (kV _{tepe})	Akım (mA _{tepe})
1000	1002,22	11,61	-1000	-982,95	-11,66
	1002,22	11,61		-1002,22	-11,61
	1002,22	11,82		-1002,22	-11,61
900	905,85	10,53	-900	-905,85	-10,86
	905,85	10,76		-905,85	-10,76
	905,85	10,53		-925,13	-10,86
800	809,49	9,47	-800	-809,49	-9,14
	809,49	9,47		-809,49	-9,08
	809,49	9,68		-809,49	-9,03
700	713,12	8,60	-700	-703,48	-8,71
	713,12	8,60		-703,48	-8,71
	713,12	8,39		-703,48	-8,66
600	607,11	7,53	-600	-616,75	-7,69
	607,11	7,53		-636,02	-7,85
	607,11	7,53		-616,75	-7,74
500	510,75	6,45	-500	-510,75	-6,13
	510,75	6,45		-510,75	-6,02
	510,75	6,45		-510,75	-6,02
400	395,11	5,16	-400	-404,74	-4,79
	404,74	5,16		-404,74	-4,73
	404,74	5,16		-404,74	-4,73
300	298,74	3,44	-300	-298,74	-3,66
	298,74	3,44		-308,38	-3,66
	298,74	3,34		-308,38	-3,66

Sıcaklık= 27,7°C Bağıl Nem= %48,7 Basınç= 1015mb

Çizelge B.8: YED 1 için 4m. elektrot açıklığında korona boşalma akımları deney sonuçları.

Gerilim Seviyesi (kV _{tepe})	Gerilim (kV _{tepe})	Akım (mA _{tepe})	Gerilim Seviyesi (kV _{tepe})	Gerilim (kV _{tepe})	Akım (mA _{tepe})
1000	993,27	28,77	-1000	-993,27	-25,58
	993,27	28,24		-993,27	-25,05
	993,27	28,77		-993,27	-25,05
900	897,77	22,91	-900	-897,77	-22,91
	897,77	23,45		-897,77	-22,38
	897,77	23,45		-897,77	-22,91
800	802,26	21,31	-800	-802,26	-21,31
	802,26	20,78		-802,26	-21,85
	802,26	21,31		-802,26	-21,31
700	687,65	18,65	-700	-706,75	-18,11
	687,65	19,18		-706,75	-18,11
	706,75	19,18		-697,20	-17,58
600	611,25	15,98	-600	-601,69	-14,92
	611,25	15,98		-601,69	-15,45
	630,35	16,51		-601,69	-15,98
500	506,19	13,86	-500	-515,74	-14,39
	506,19	13,32		-525,29	-14,39
	506,19	13,86		-525,29	-14,39
400	401,13	11,19	-400	-401,13	-11,72
	401,13	10,66		-382,03	-10,66
	401,13	10,66		-401,13	-11,19
300	286,52	8,52	-300	-296,07	-9,06
	296,07	9,06		-296,07	-8,52
	296,07	8,52		-296,07	-8,52

Sıcaklık= 27,7°C Bağıl Nem= %48,7 Basınç= 1015mb

Çizelge B.9: YED 2 için 4m. elektrot açıklığında korona boşalma akımları deney sonuçları.

Gerilim Seviyesi (kV _{tepe})	Gerilim (kV _{tepe})	Akım (mA _{tepe})	Gerilim Seviyesi (kV _{tepe})	Gerilim (kV _{tepe})	Akım (mA _{tepe})
1000	1003,11	30,14	-1000	-983,82	-30,14
	1003,11	30,67		-1003,11	-31,21
	1003,11	30,67		-1003,11	-31,21
900	887,37	29,06	-900	-925,95	-27,98
	906,66	29,06		-906,66	-26,91
	906,66	29,06		-925,95	-27,44
800	790,91	24,21	-800	-829,50	-25,29
	790,91	23,68		-810,20	-24,75
	790,91	23,68		-810,20	-24,75
700	713,75	22,60	-700	-733,04	-20,45
	713,75	22,60		-713,75	-19,91
	713,75	22,07		-713,75	-20,99
600	617,30	20,45	-600	-636,59	-18,29
	617,30	19,91		-607,65	-17,76
	617,30	19,37		-607,65	-17,76
500	511,20	16,14	-500	-511,20	-15,61
	511,20	15,61		-511,20	-15,06
	511,20	16,14		-511,20	-15,61
400	405,10	11,83	-400	-414,75	-12,91
	405,10	12,38		-414,75	-12,38
	405,10	12,38		-405,10	-12,38
300	308,65	9,15	-300	-308,65	-9,69
	308,65	9,69		-308,65	-10,22
	318,29	9,69		-308,65	-10,22

Sıcaklık= 27,7°C Bağıl Nem= %48,7 Basınç= 1015mb

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad: Zafer Faydalı

Doğum Yeri ve Tarihi: Adapazarı, 01.08.1984

Adres: Karaman Mah. 1455 Ada 2.Blok Kat 2 Daire 6 54290 Adapazarı / SAKARYA

Lisans Üniversite: İstanbul Teknik Üniversitesi, Elektrik Mühendisliği, 2002-2006